

Identificación de bases de datos para la evaluación de energías renovables en la Isla de Saboga (archipiélago de Las Perlas, Panamá). Primeras aproximaciones.

Trabajo Final de Grado



Facultat de Nàutica de Barcelona
Universitat Politècnica de Catalunya

Trabajo realizado por:

Andreu Martínez Parera

Dirigido por:

Marcel·la Castells i Sanabra

Francesc Xavier Gironella i Cobos

Barcelona, 9 de Junio de 2018

Departamento de Ciencia e Ingeniería Náuticas

Agradecimientos

Primeramente, me gustaría mencionar a mi tutora del proyecto, la Marcel·la Castells sin la ayuda y las informaciones de la cual, sobre Panamá y concretamente sobre el archipiélago de Las Perlas y la isla de Saboga que ha proporcionado, este trabajo no habría sido posible de confeccionar.

A continuación, a Xavier Gironella, mi cotutor, el cual fue de gran ayuda en cuestiones de seleccionar que tipo de información, especialmente sobre la producción de energía eléctrica, se debía dar en un proyecto el cual no pretendía ser una exploración muy profunda en estas sino más bien una pequeña introducción para futuros desarrollos.

Seguidamente, a la empresa de energía ETESA la cual, ante algunas dudas que les formulé respecto a datos sobre el archipiélago, respondieron rápidamente y con la voluntad de ayudar a clarificar alguna información.

Este proyecto ha sido realizado gracias al apoyo del Centre de Cooperació per al Desenvolupament (CCD) de la Universitat Politècnica de Catalunya.

No quisiera finalizar estas líneas sin mencionar a mi familia: Caterina, Toni y Pau, y a mi pareja Júlia los cuales han sido el pilar de soporte fundamental para poder tirar adelante este proyecto.

Resumen

El estudio sobre la identificación de las bases de datos para la evaluación de energías renovables en el archipiélago de las Perlas es una primera aproximación sobre el terreno de la Isla de Saboga, la cual forma parte del conocido archipiélago de Las Perlas, en el cual, mediante un proyecto junto a la Universidad Marítima Internacional de Panamá (UMIP), se ha tratado de determinar cuáles son las energías renovables que pueden permitir que esta isla prospere y pueda dar un nivel de vida adecuado a sus habitantes ya sea para ser implementadas en la propia isla o, para en un futuro proyecto, desarrollar embarcaciones impulsadas mediante esta energía para poder mantener el estado ambiental del archipiélago.

Se ha realizado un profundo estudio sobre la geografía de la zona; desde su situación en el globo terráqueo y sus características, el relieve, llegando así a descubrir cuál es el perfil de la isla, tanto el que se encuentran por encima y el que se encuentra por debajo del nivel del mar. También, se ha visto su situación demográfica y se ha profundizado en el momento económico y social que está viviendo la isla, mostrando así una gran falta de recursos básicos como por ejemplo la electricidad, y finalmente, cuáles son las condiciones meteorológicas más comunes en estas latitudes. Combinando esta información con la recopilada sobre las energías renovables y sus opciones más óptimas para poder ser adaptadas a la isla, ha podido ayudar a determinar cuáles son las energías renovables más adecuadas para su posible futura implementación.

Una vez se ha realizado este informe, cabe destacar la amplia oferta de energías renovables que se pueden encontrar hoy en día. De todas las energías analizadas, la energía solar es la energía más óptima para implementar en función de las condiciones meteorológicas y legales que se reúnen en la isla para poder realizar este proyecto. El alto número de horas de sol, las cuales son directamente proporcionales a los altos índices de rayos UV que se registran, especialmente durante la época seca, han sido claramente determinantes en el momento de decidir que la energía solar, con todas sus posibilidades, es la gran alternativa, aunque no para sustituirla totalmente, a la energía



producida de forma convencional mediante generadores (que es el método que se usa hoy en día en la isla de Saboga para suministrar energía a sus habitantes). La energía solar, aparte de poder reducir las emisiones de gases contaminantes por parte de los generadores de combustible en el archipiélago, también puede, en el futuro, ser una salida para una nueva generación de embarcaciones, tanto recreativas como de pesca que hay en la zona, las cuales usen esta energía para propulsarse de forma limpia y con la apropiada orientación de mantener la biodiversidad en la zona.

Tabla de contenidos

| | |
|--|----|
| Agradecimientos..... | 3 |
| Resumen | 4 |
| Tabla de contenidos | 6 |
| Listado de figures..... | 8 |
| Listado de tablas | 10 |
| Introducción | 12 |
| Capítulo I: La Isla de Saboga y el Archipiélago de Las Perlas..... | 14 |
| Aproximación al Archipiélago de Las Perlas | 14 |
| Isla de Saboga | 18 |
| Descripción demográfica..... | 18 |
| Descripción económica | 20 |
| Descripción geográfica | 22 |
| Factores naturales..... | 27 |
| Mareas..... | 39 |
| Ámbito legal..... | 45 |
| Capítulo II: Introducción a las energías renovables | 48 |
| Generación de energía eléctrica | 50 |
| Las energías renovables..... | 58 |
| Energía Hidráulica | 58 |
| Energía hidroeléctrica | 58 |
| Energía mareomotriz | 62 |
| Energía undimotriz..... | 66 |

| | |
|----------------------------|-----|
| Energía Eólica | 68 |
| Energía solar..... | 79 |
| Energía solar térmica..... | 80 |
| Energía fotovoltaica | 84 |
| Energía geotérmica | 95 |
| Bioenergía | 99 |
| Conclusiones..... | 103 |
| Bibliografía..... | 111 |
| Libros..... | 111 |
| Artículos | 112 |
| Páginas web | 113 |

Listado de figures

| | |
|--|----|
| Figura 1. Golfo de Panamá y el Archipiélago de las Perlas..... | 17 |
| Figura 2. Casa del Pueblo de Saboga..... | 19 |
| Figura 3. Archipiélago de Las Perlas..... | 22 |
| Figura 4. La isla de Saboga y su relieve..... | 23 |
| Figura 5. Descripción de la isla de Saboga..... | 25 |
| Figura 6. Situación actual de las placas tectónicas en América..... | 26 |
| Figura 7. Carta náutica de la isla de Saboga..... | 27 |
| Figura 8. División climática de la Tierra..... | 28 |
| Figura 9. Incidencia rayos UV en América Central en Septiembre..... | 30 |
| Figura 10. Incidencia rayos UV en América Central en Abril..... | 31 |
| Figura 11. Células de circulación del viento..... | 32 |
| Figura 12. Vientos dominantes de Panamá..... | 33 |
| Figura 13. Promedio histórico mensual de viento entre 1974 y 2005..... | 34 |
| Figura 14. Circulación de corrientes marinas..... | 35 |
| Figura 15. Corriente de El Niño..... | 38 |
| Figura 16. Efecto del Sol y la Luna en las mareas..... | 39 |
| Figura 17. Amplitudes de marea y puntos anfdrómicos..... | 42 |
| Figura 18. Demanda y generación electricidad en España..... | 51 |
| Figura 19. Partes de un alternador..... | 52 |
| Figura 20. Central Térmica de Combustión..... | 53 |

| | |
|---|-----|
| Figura 21. Reacción de fisión nuclear..... | 54 |
| Figura 22. Paneles solares cilíndricos..... | 55 |
| Figura 23. Transformación de la Energía..... | 56 |
| Figura 24. Esquema tipos de generación eléctrica..... | 57 |
| Figura 25. Central hidroeléctrica..... | 59 |
| Figura 26. Energía mareomotriz I..... | 63 |
| Figura 27. Energía mareomotriz II..... | 64 |
| Figura 28. Proyecto Langlee y Pelamis..... | 67 |
| Figura 29. Volumen de aire abatido por las aspas..... | 70 |
| Figura 30. Partes de un Aerogenerador..... | 72 |
| Figura 31. Parque eólico offshore..... | 76 |
| Figura 32. Aerogenerador de eje vertical..... | 77 |
| Figura 33. Energía solar térmica de baja temperatura..... | 82 |
| Figura 34. Parque solar de torre central..... | 84 |
| Figura 35. Funcionamiento placa solar..... | 87 |
| Figura 36. Situación de la instalación fotovoltaica..... | 89 |
| Figura 37. Resultados de la generación teórica de la planta fotovoltaica..... | 90 |
| Figura 38. Central de placas fotovoltaicas..... | 92 |
| Figura 39. Esquema sistema de generación eléctrica fotovoltaico aislado..... | 93 |
| Figura 40. Central Geotérmica de vapor seco..... | 97 |
| Figura 41. Central Geotérmica de alta temperatura..... | 98 |
| Figura 42. Central de cogeneración mediante biomasa..... | 100 |

Listado de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Precipitaciones y temperaturas mensuales. Clima data. 2017..... | 29 |
| Tabla 2. Coeficiente de mareas en el Golfo de Panamá. Tablas de mareas..... | 41 |
| Tabla 3. Baja mar y pleamar en el Golfo de Panamá. Tablas de mareas..... | 43 |

Introducción

La Identificación de bases de datos para la evaluación de energías renovables en el archipiélago de Las Perlas, situado en el golfo de Panamá, es un proyecto iniciado a partir del descubrimiento de este archipiélago por parte de los alumnos de la Facultad de Náutica de Barcelona a raíz de la publicación de un trabajo de final de grado¹ de la misma que trataba sobre la implementación de una escuela de vela en una de estas islas llamada isla de Saboga.

A través de este trabajo se pudo conocer la gran deficiencia de energía eléctrica en la isla de Saboga, energía que actualmente es suministrada a la población a través de un generador eléctrico de combustible que no alcanza a producir la demanda de energía de la isla. Paralelamente, se detectó un abandono de la población por parte del gobierno y fue en este momento que se decidió avanzar con este proyecto, el cual pretendía determinar cuáles son las características de la zona, realizando un estudio meteorológico, geográfico, económico y demográfico, y mediante una comparación sobre las energías renovables más rentables que se conocen hoy en día, determinar cuáles podrían ser implementadas en la isla de Saboga para poder dar el servicio óptimo que es demandado y en un futuro, estudiar su implementación en embarcaciones con el objeto de reducir las emisiones de gases contaminantes en la zona.

El proyecto se ha dividido en dos fases: la primera comprendería una descripción detallada del archipiélago de Las Perlas y de la isla de Saboga y la segunda parte una descripción básica relacionada con las energías renovables, descubrir cuál es su funcionamiento y finalmente, como conclusión del trabajo realizar una comparación entre los requisitos de éstas y las características de la isla para poder determinar cuál es la más adecuada para su futura implementación.

¹ Baró, J. 2017, Proyecto Final de Carrera, Universitat Politècnica de Catalunya, *Força 3 Sailing Club Panamá: Gestió i creació de la primera escola de vela lleugera a Panamá*, Barcelona.

De este modo, se empezó el proyecto intentando descubrir todo lo que se pudiera sobre el archipiélago de Las Perlas y concretamente la Isla de Saboga. Debido al desconocimiento de estas islas a nivel internacional, la cantidad de información encontrada y que fuera fiable fue bastante reducida pero gracias a las fuentes recogidas por la tutora de este trabajo durante su estancia en la isla y la búsqueda de datos principalmente publicados por organismos públicos de Panamá se ha podido recoger suficiente información verídica como para que nos podamos formar una idea bastante clara de cómo es la isla en los ámbitos que hemos comentado anteriormente.

A continuación, se empezó el desarrollo de la segunda parte la cual hacía referencia a las energías renovables. Este apartado, a diferencia del anterior sí que contenía mucha información al respecto y mediante la consulta de publicaciones de organismos oficiales pudimos realizar un informe en el cual se pudieran contemplar las energías renovables más rentables que existen hoy en día y conocer cuáles son sus características principales.

Finalmente, como conclusiones del trabajo pudimos comparar cuáles de las energías renovables mencionadas en la segunda parte del trabajo eran las más idóneas para poder ser implementadas en una isla como la isla de Saboga, mediante las características de esta misma que habíamos definido en la primera parte del trabajo.

En conclusión, pudimos alcanzar el objetivo que nos habíamos marcado y de esta manera poder proponer una vía de mejora y desarrollo para la zona del archipiélago de Las Perlas y concretamente de la isla de Saboga sin tener que prescindir de valores tan importantes como la conservación y el cuidado del medio ambiente, especialmente en estos lugares en que es tan singular y que sin duda alguna son la columna vertebral de su encanto.

Capítulo I: La Isla de Saboga y el Archipiélago de Las Perlas

Aproximación al Archipiélago de Las Perlas

La isla de Saboga forma parte de un conjunto de islas que reciben el nombre de Archipiélago de Las Perlas el cual se encuentra bajo la jurisdicción de Panamá. Este archipiélago se encuentra en aguas del Océano Pacífico, en el conocido como mar del sur, dentro del golfo de Panamá entre unos 60-80 Km de la costa. En esta parte del proyecto vamos a describir las principales características de la Isla de Saboga, así como también de su zona circundante, el archipiélago de Las Perlas. Vamos a adentrarnos en su descripción geográfica, su situación a nivel demográfico, social y económico y finalmente, vamos a analizar sus características a nivel meteorológico como son el clima y en consecuencia, su temperatura, la lluvia, las corrientes, las mareas, etc. Siguiendo este pequeño resumen, vamos a empezar conociendo un poco el archipiélago de Las Perlas.

Un total de 200 islas e islotes forman este archipiélago del cual las más famosas son:

- Isla del Rey, la cual es la isla más grande del archipiélago con una superficie de 234 m²
- Isla de San José, la cual es la segunda más grande y en las aguas circundantes de la cual podemos encontrar ballenas, delfines, atunes, tortugas, ostras, almejas y mejillones.
- Isla Contadora, conocida por su gran actividad turística y la primera que fue habitada en el siglo XVI por los piratas de la zona.
- Isla de Saboga, también concentra actividad turística pero no tanto como Contadora. Con una población de 700 habitantes, será la isla sobre la cual centraremos nuestro proyecto.

Se puede considerar que son un conjunto de islas mayormente llanas ya que ninguna de ellas supera los 200 metros de altura, encontrándose este punto en la Isla del Rey. Sin embargo, sí que existen pequeños montes en los interiores de las islas que dificultan la construcción de edificaciones, así como también de infraestructuras complejas. El gran espesor de vegetación en el interior de estas es también un elemento a tener en cuenta en cuanto a la construcción de carreteras las cuales escasean y la mayoría son de tierra batida. A nivel fluvial podemos decir que no existen ríos en la mayoría de las islas debido a su tamaño habiendo solo alguno en la Isla del Rey.

Este archipiélago es conocido por su gran cantidad de perlas que se encontraron cuando fue descubierto por los portugueses en septiembre de 1513 por el famoso explorador Vasco Núñez de Balboa y explorada posteriormente por los españoles en el siglo XVII². Una de estas perlas encontradas fue la nominada como la Peregrina la cual fue propiedad de la corona española y de Elisabeth Taylor hasta que en 2011 fue subastada por 9 millones de dólares.

En los últimos años, el archipiélago de las Perlas ha crecido exponencialmente en el sector terciario, sobre todo en el turismo. Gracias a sus magníficas playas y su riqueza en el fondo marino, donde hay una gran abundancia de especies marinas³, y si se tiene suerte, se puede encontrar alguna que otra perla. Eso ha atraído a turistas, dando así lugar a pequeños resorts e instalaciones generando un desequilibrio en el tejido social de la zona si se compara con la extrema pobreza en la que vive la población autóctona.

En referencia a la población del archipiélago de Las Perlas es mayormente de origen afrocolonial establecidos desde medianos del siglo XVI cuando estos fueron traídos por los españoles y portugueses como mano de obra y esclavos. Hay que matizar que, aunque no existe un censo oficial de las islas, ya que estas forman parte del distrito de Balboa, se puede aproximar que actualmente viven unas 3000 personas en el conjunto

² Congreso Internacional América Latina: La Autonomía de una Región, 2012, *Implantar turismo: ¿Sembrar desarrollo? El caso del Archipiélago de Las Perlas, Panamá.*

³ Siendo considerado este archipiélago como una de las mejores zonas para dedicarse a la pesca deportiva a nivel mundial, habiendo anualmente dos torneos de pesca en Contadora.



de islas que forman el archipiélago divididos en pequeños pueblos de entre 100 y 200 personas, en excepción de la capital, San Miguel, que se encuentra en la isla del Rey y que cuenta con una población de 1044 habitantes. Muchos de estos pueblos se encuentran en un grave proceso de decadencia debido al alto nivel de pobreza de la población a raíz del alto índice de desempleo de los habitantes. Históricamente el archipiélago había subsistido a partir de la exportación de los recursos naturales provenientes del mar como eran las perlas, la langosta, pulpos, etc. Sin embargo, a partir de la década de 1970 con la apertura de un resort en la isla de Contadora empezó una nueva era de implementación del sector terciario en el archipiélago, sobre todo en las islas vecinas a Contadora, como Saboga y Casaya que ha ido en aumento desde entonces. Aunque estas islas están siendo explotadas por el sector terciario dando así grandes beneficios, estos, no se ven reflejados en el conjunto de la población. Además, cabe matizar que existe una grave deficiencia en el suministro de elementos básicos como el agua o la electricidad, el segundo del cual, como ya hemos mencionado es el motivo por el que se realiza este proyecto.

Finalmente, en referencia al acceso de personas y mercancías hacia el archipiélago, hay dos principales formas de realizar este traslado. Una de ellas es mediante el transporte aéreo, el cual nos puede dejar al aeropuerto de la isla Contadora, la más turística; o en las islas del Rey y de viveros. Por otra parte, el transporte marítimo es la otra opción, habiendo un tráfico constante de ferris de reducido tamaño con la mayoría de las islas, especialmente con Contadora y la isla del Rey. El trayecto en ferry es de aproximadamente hora y media mientras que el traslado en avión dura unos 20 minutos.



Figura 1. Golfo de Panamá y el archipiélago de Las Perlas. Google Maps.

Como podemos observar en la figura 1, el archipiélago de Las Perlas se encuentra al sur de Panamá en el Océano Pacífico, aproximadamente a unas 30 millas de la costa, las islas más cercanas como Contadora y Saboga y a unas 60 millas las más lejanas.

A continuación, vamos a proseguir con la isla protagonista de nuestro proyecto. La isla de Saboga.

Isla de Saboga

Siendo la isla más grande de la zona septentrional del archipiélago, la Isla de Saboga se encuentra a 40 millas náuticas de la ciudad de Panamá. A escasos kilómetros de la turística Isla de Contadora, Saboga vive entre dos situaciones: la actividad creciente a la isla a través de un resort turístico y la extrema pobreza en la que vive la población autóctona de la isla. El acceso tanto de personas como de mercancías a esta se realiza mediante varios ferris de reducido tamaño procedentes de la cercana isla de Contadora o directamente de la propia ciudad de Panamá. A continuación, realizaremos una explicación de su situación demográfica y económica con el fin de poder conocer mejor el ambiente en el que se centra nuestro proyecto y finalmente, vamos a conocer su relieve y climatología.

Descripción demográfica

Como ya se comentó anteriormente, el archipiélago de las Perlas no consta de un censo único oficial de este ya que está incluido en el distrito de Balboa dentro de la provincia de Panamá. Sin embargo, en 2010 se realizó un informe⁴ sobre la Situación Social, Económico y Ambiental de las tres comunidades más importantes del archipiélago: San Miguel, Pedro González y Saboga, en el cual se desveló cual era la población que se encontraba en el archipiélago, así como también su situación.

Primeramente, resalta el hecho que el número de habitantes de la isla fluctúa considerablemente entre las dos estaciones del año: la húmeda y la seca que, a su vez, coinciden con las temporadas altas y bajas de turismo en la isla vecina, Contadora. En una encuesta realizada el año 2000, la población era de 330 habitantes y unas 97 viviendas, en cambio, el año 2009, en la realización del informe nombrado se sostuvo que la población era de 425 habitantes y 125 casas. Además, el informe destaca que

⁴ 2009, Alianza para la Conservación y el Desarrollo (ACD), *Informe de Situación Social, Económico y Ambiental de tres Comunidades: San Miguel, Pedro González y Saboga, Panamá*.



teniendo en cuenta el estudio, la población en temporada alta puede llegar a los 600 habitantes entre todas las casas habitadas de la isla. De este estudio también se destaca que un 52,5% de estos eran mujeres y un 47,5% hombres y según la edad, se dedujo que esta era especialmente joven, sobre todo debido a la baja esperanza de vida registrada las últimas décadas: un 38,4% eran menores de 18 años, un 52,5% se encontraban entre los 18 y los 65 y finalmente un 9,1% estaban por encima de esta cifra.



Figura 2. Casa del pueblo de Saboga. Foto: Marcel·la Castells.

A nivel social hay que mencionar que en el pueblo existen infraestructuras como una escuela que ofrece cursar hasta el primer ciclo de la secundaria, un centro de salud que es atendido por un asistente médico de lunes a viernes, una estación de policía, unas áreas de recreo en estado precario, dos cantinas y dos iglesias: una católica y una evangélica. Existen también algunas organizaciones como la de la escuela que apoya la labor educativa, un comité deportivo que organiza a los jugadores de fútbol, un comité de agua que se encarga de buscar una solución para la falta de agua durante la sequía y finalmente, tres partidos políticos que se encargan de defender la biodiversidad y la autenticidad de las islas frente la recién llegada del sector turístico. En el informe se hace especial hincapié en el hecho que el pueblo se encuentra en unas condiciones de mantenimiento deplorables. Las calles no han sido correctamente mantenidas lo que provoca que falte parte de la pavimentación, así como las mismas viviendas que se

encuentran mal acabadas tal y como se pueden ver en la figura 7 y con materiales subestándar: láminas de zinc en techo, paredes de madera, etc.

Descripción económica

Actualmente Saboga se encuentra sometida a un cambio muy profundo. Se están construyendo zonas turísticas y eso crea empleo hasta el punto de que la construcción es la actividad económica más potente de la isla con un 29,3% del total de las actividades económicas realizadas en la isla. A continuación, tenemos el mantenimiento de servicios, como los resorts o el aeropuerto, en la isla de Contadora, con un 19,6%; las actividades tradicionales como la pesca y su comercio con un 10,1% y en última posición el turismo con un 9,9% pero que esta, sin duda, se encuentra en una fase de crecimiento.

Tradicionalmente la gente había vivido de la agricultura y la pesca lo que lleva a que muchos hoy en día se encuentren en paro debido a la disminución del potencial económico de ambas, sobre todo de la primera la cual debido a la construcción está perdiendo terreno hasta verse solamente limitada al desarrollo familiar. Para la mayoría de los trabajos de la construcción se han cogido a gente joven y para los trabajos del sector terciario, de cara al público, trabajan extranjeros o gente local que domina idiomas por lo cual, la mayoría de los autóctonos han desarrollado un empobrecimiento de su situación. Sin embargo, hay que matizar que hay casos en los cuales la gente que se dedica a la pesca se ha reinventado hacia dos direcciones: una de ellas es la pesca deportiva y otra es hacia el turismo. Mediante las embarcaciones que usaban para pescar, ahora las alquilan a turistas que quieren conocer la isla desde el mar o quieren observar su gran riqueza submarina. Estos pescadores realizan la pesca durante las primeras horas del día, y el resto lo dedican al sector terciario. Esta reinversión del negocio ha permitido a algunas familias poder seguir adelante.

Este empobrecimiento es la clave por la cual la gente vive en infraestructuras anacrónicas, poco estables y poco seguras. Un ejemplo de ello es que actualmente aún

hay viviendas que no cuentan con un sistema de evacuación de aguas negras en condiciones. Este fue construido hace 30 años y solo puede ser usado por las casas que había en el momento de su construcción, un 57% del total de la población. A sí mismo, la falta de un sistema de recolecta de impuestos, derivado de la pobreza de la población, hace que también escasee el sistema de recolección de residuos siendo la solución tirarlos en vertederos alejados del pueblo sin ningún tipo de tratamiento.

Además, con el aumento de personas que se hospedan en la isla, se ha visto agravado el problema de la recolecta de agua. Saboga es una isla pequeña donde no existen lagos de agua dulce y el agua se extrae de tres pozos bastante mal mantenidos los cuales no son suficientes para abastecer a toda la población en la época seca.

Finalmente, contamos con el tema en el que se centra este proyecto: la electricidad. Un generador de combustión interna que puede dar una potencia de 3,245 kW abastece a la población de la isla y a la de la isla de Contadora, el generador de la cual fue cerrado⁵ en 2003. Aunque un 93% de la población de Saboga cuenta con suministro eléctrico, la producción del generador no es suficiente para la demanda de las dos islas y su futura evolución en la construcción de nuevos resorts turísticos, de modo que se debe buscar una manera de aumentar la oferta de energía juntamente a las energías renovables las cuales no son perjudiciales por el medio ambiente. La falta de mantenimiento de la infraestructura eléctrica de la isla comporta que a menudo, como derivación de las tormentas o fuertes vientos, la línea eléctrica padezca en algún punto lo que produce que se corte el suministro en parte o en la totalidad de la isla, así como también a la isla de Contadora.

En resumen, Saboga es una isla que cuenta con recursos propios, algunos de los cuales están empezándose a potenciar. Sin embargo, la población autóctona vive en unas condiciones muy pobres debido principalmente a una baja inversión del gobierno que se ha centrado en los últimos años a potenciar el sector privado encarado al turismo. La

⁵ Resolución No. JD-1114, de 1 de Diciembre de 1998, en la que se modifica la capacidad instalada a 3,245 kW y se traslada la planta termoeléctrica de Isla Contadora a la Isla de Saboga.



falta de organización social hace que los ciudadanos de Saboga, así como también del archipiélago en general, sean poco escuchados y hoy en día, que la isla empiece a facturar grandes cantidades de dinero, sigan viviendo en malas condiciones.

Descripción geográfica

Situación:

Saboga se encuentra situada en el norte del archipiélago de las Perlas en situación: $8^{\circ}37'00''$ N $79^{\circ}04'00''$ W es una de las islas más grandes de la parte septentrional del archipiélago juntamente con contadora como podemos observar en la figura 3.



Figura 3. Archipiélago de Las Perlas. Google Maps.

En esta observamos, como hemos mencionado anteriormente, que la isla del Rey es la isla más grande seguidas de San José y la Isla de San Pedro, encontrándose las tres a la zona sur del archipiélago, mientras que Saboga, sin comparación a las anteriormente

nombradas, es la más grande del norte, facilitando de esta manera que los trayectos entre el archipiélago y el continente sean más rápidos a estas dos islas, fruto del cual permite que tengan una salida más fuerte que las otras en el sector terciario además del hecho de que se encuentra a menos de un kilómetro, unos 700 metros de su isla vecina, Contadora que es actualmente la más explotada a nivel turístico.

Relieve:

Saboga es una isla con forma romboide pero más larga que ancha, con unos 3 Km de largo (de Norte a Sur) en su punto más largo y 2,2 Km en su punto más ancho (de Este a Oeste) lo que hace aproximadamente una superficie total de 2,77 Km².



Figura 4. La isla de Saboga y su relieve. Google Maps.

Al encontrarse al sur de Panamá, está bañada por el océano Pacífico, concretamente en aguas del conocido Golfo de Panamá. Como podemos ver en la figura 4, su costa se

puede encontrar en forma de playas de arena o zonas de rocas y en el interior abunda principalmente una vegetación tropical solo interrumpida por la acción del hombre en forma de infraestructuras como carreteras, zonas habitadas y últimamente, el desarrollo del sector terciario. No se recoge la existencia de ningún río, por el hecho que es una isla extremadamente pequeña por lo que complica su presencia, sin embargo, sí que hay un pequeño lago al este de la llamada Playa Larga. En general la isla es llana con el punto más alto situado a los 68 metros sobre el nivel del mar. Sí que hay algunos desniveles pronunciados hacia al centro de la isla, como en el caso del propio pueblo de la isla que se encuentra al pie de una colina haciendo así que todo él se encuentre en pendiente. Más allá del punto alto de la isla, otra colina que alcanza los 50 metros de altitud, pero el resto es principalmente llano. En la figura 4 podemos observar la descripción geográfica hecha en este apartado de la isla: la forma romboide de la isla, la costa que se divide en parte de playas y parte de rocas (sin existencia de precipicios), la inexistencia de ríos, pero sí la presencia de un pequeño lago y finalmente, podemos ver las curvas de nivel que nos muestran los dos montículos nombrados y la evidencia que la isla es principalmente llana.

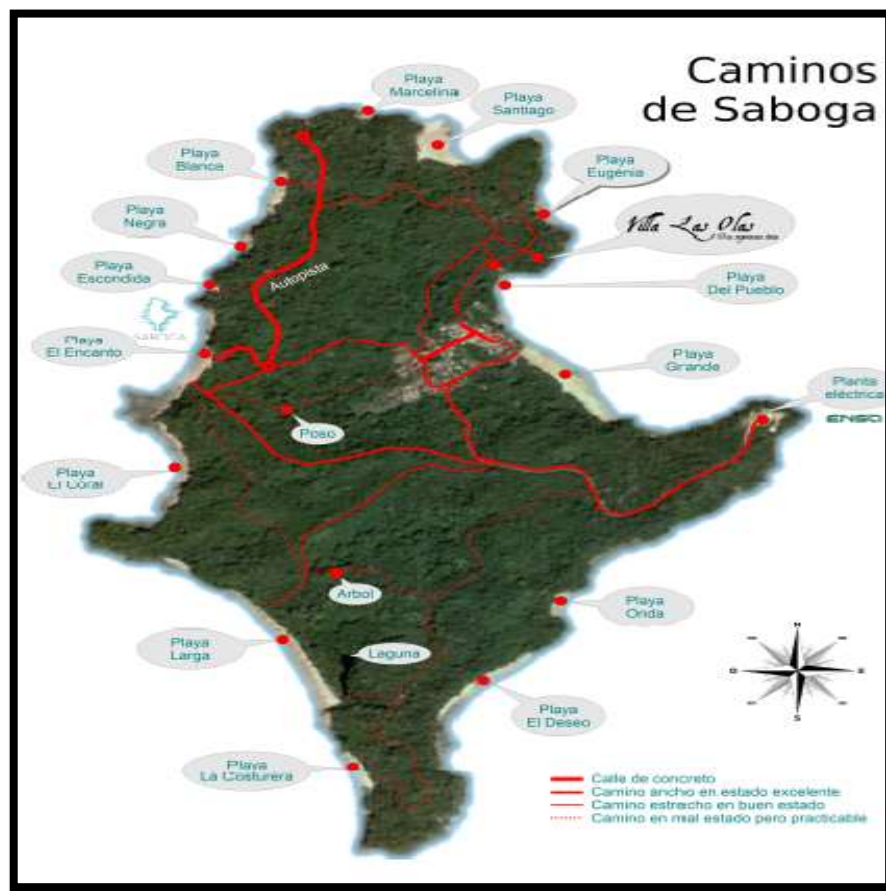


Figura 5. Descripción de la isla de Saboga. Descubriendo la isla de Saboga.

Batimetrías

El principal objetivo de este proyecto consiste en encontrar cual o cuales son las energías renovables que se adaptarían más al entorno de la isla de Saboga por eso, se decidió que se debía incluir el apartado de batimetrías puesto que la generación de energía renovable a través de la energía del mar es una salida bastante plausible. El archipiélago de Las Perlas tiene su origen hace unos tres millones de años cuando América del Sur y América del Norte aún no estaban unidas. Poco a poco la confluencia de hasta cinco placas tectónicas: la norte americana que presionaba hacia el sur, la sur americana que era presionada hacia el oeste, la del caribe que era contraída entre estas dos y la placa

de cocos que a su vez era movida hacia el norte por la de nazca, provocaron que la tierra se levantara generando así la unión de las Américas, así como la aparición de islas fruto de este levantamiento.



Figura 6. Situación actual de las placas tectónicas en América. Vix Explora.

Como podemos observar en la figura 6, el Archipiélago de Las Perlas se encuentra cerca de esta confluencia de placas tectónicas, que están siendo levantadas, por lo cual deducimos que en el mar que conforma el actual golfo de panamá, la profundidad será escasa. En el caso de las aguas circundantes a la Isla de Saboga, la profundidad según cartas, es decir, el mínimo que encontraremos siempre en los peores casos, tanto de mareas como de presión, será siempre menor a los diez metros. De hecho, la mayoría del fondo marino del archipiélago se encuentra a una profundidad de aproximadamente diez metros tal y como podemos observar en la figura 6.



Figura 7. Carta Náutica de la isla de Saboga. The Panamá Cruising Guide.

Factores naturales

Para finalizar y poder identificar con la mayor precisión posible cuales son las energías renovables más adaptables a su entorno, haremos una explicación sobre su clima y los principales factores naturales como son la lluvia, el viento, el sol y las mareas.

Clima

Los climas están directamente relacionados con la latitud en la que se encuentra el país, ya que de eso depende la incidencia del sol durante todo el año y esta es una de las principales influencias de la climatología. El archipiélago de Las Perlas, así como la propia isla de Saboga se encuentran a 9°N respecto al ecuador lo que, según la figura 8, lo deja totalmente centrado en la zona cálida de la tierra. Al estar bañada por las aguas del Océano Pacífico, provoca que el clima que puede definir la situación meteorológica actual de Panamá sea el clima tropical.

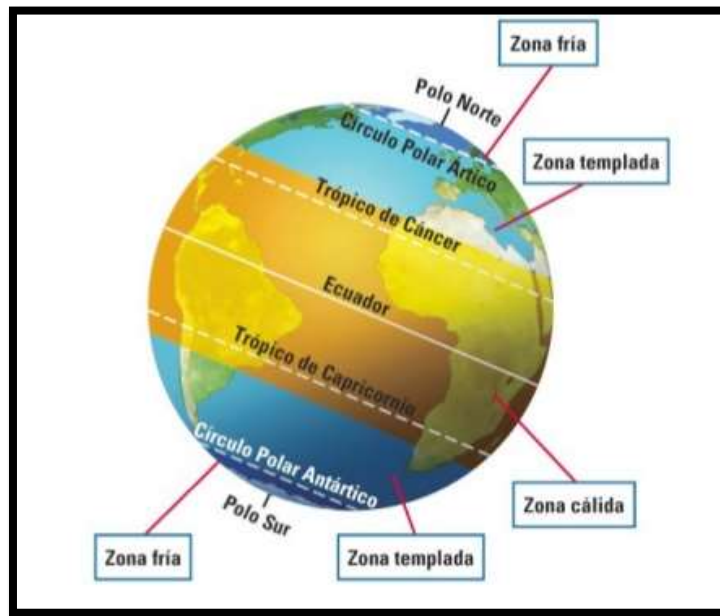


Figura 8. División climática de la Tierra. Slides Share: “Los climas de la Tierra”.

Este clima, aplicándolo a la Isla de Saboga, se caracteriza principalmente por una temperatura media elevada durante todo el año, unos 26°C aproximadamente, por lo que es imposible clasificar las estaciones típicas a las que estamos acostumbrados en la zona templada de la tierra con las cuatro estaciones trimestrales que se presentan cada año. En el caso de la isla Saboga, así como también en toda la región de centro América, se divide el año en dos estaciones: la húmeda y la seca. Estas dos estaciones vienen dadas por la evolución de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) la cual durante los meses de verano experimenta un incremento de latitud situándose encima de Panamá. De esta manera, esta zona de perturbaciones provoca que durante más de la mitad del año llueva de manera intensa. Durante los otros meses, unos cuatro aproximadamente, las lluvias no desaparecen sino que pierden importancia, apareciendo solo en un 35% de los días de cada mes. En la tabla 1 podemos observar las precipitaciones a lo largo del año (siendo señalados los meses con su número) y la temperatura media anual.

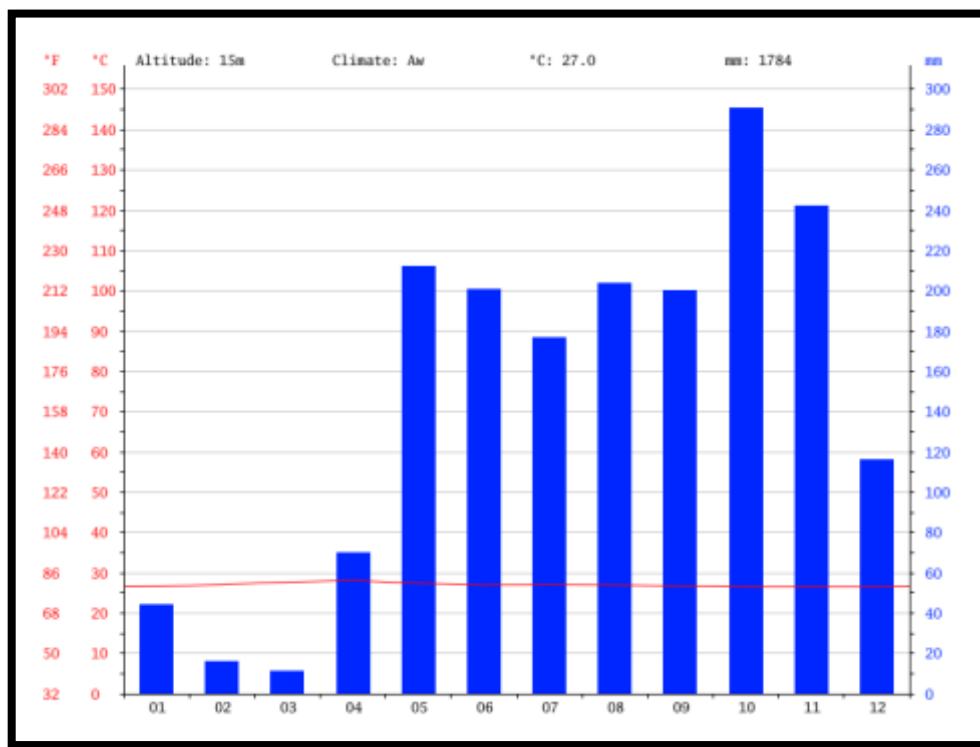


Tabla 1. Precipitaciones y temperaturas mensuales. Clima data. 2017.

Cabe detallar la gran diferencia que hay entre la temporada de lluvia, que se extiende de mayo a noviembre, y la temporada seca la cual ocupa el resto del año, de diciembre a abril. La temperatura, como es típico de un clima tropical, se mantiene bastante constante a lo largo de año sufriendo pocas oscilaciones. Sin embargo, hay que matizar que durante la época seca sí que existe bastante oscilación térmica diaria que no se ve reflejada en la oscilación térmica media anual. Finalmente, cabe también destacar la presencia de un alto nivel de humedad durante todo el año cercano al 90%⁶.

Incidencia rayos UV.

En la descripción meteorológica de la zona también se incluye la comparación de la incidencia de los rayos UV provenientes del Sol. Uno de los rayos que son emitidos por el Sol, son los rayos ultravioletados (UV). Estos rayos que se encuentran fuera del espectro

⁶ Datos obtenidos a partir de la media de todas las estaciones meteorológicas de Panamá de la empresa ETESA que registran datos sobre la humedad relativa.

visible del ojo humano, como veremos en el capítulo de las energías renovables, pueden ser usados para producir energía eléctrica por tanto, su incidencia en la isla Saboga a lo largo de un año nos es de alta apreciación. Como tal, hemos cogido los índices de captación de rayos UV⁷ en dos momentos del año, ya que al tener dos estaciones muy diferenciadas, no es necesario ver la evolución durante las cuatro estaciones como haríamos en la zona templada de la Tierra, como por ejemplo en Europa. Ha sido suficiente con coger unos datos de plena época de lluvias (septiembre) y otros de abril en plena época seca.

Septiembre:

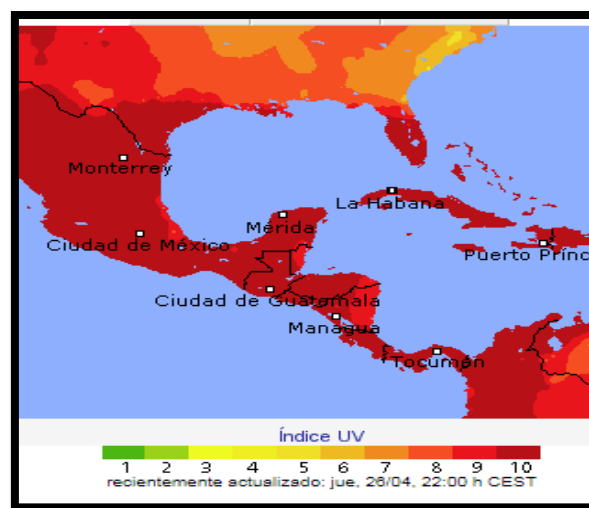


Figura 9. Incidencia rayos UV en América Central en Septiembre de 2017. Weather Online.

⁷ Según la estación meteorológica de la Ciudad de Panamá.

Abril:

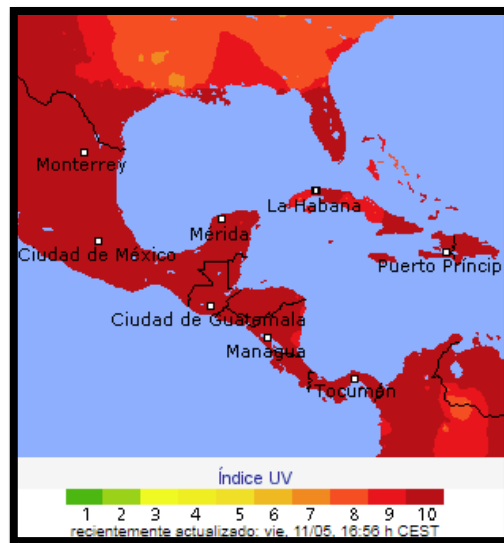


Figura 10. Incidencia rayos UV en América Central en Abril de 2018. Weather Online.

El grado de incidencia de los rayos UV es medido en una escala sobre 10 de modo que como podemos ver en ambas figuras, que en Panamá durante las dos épocas del año es muy alto. Sin embargo⁸, hay que tener en cuenta una pequeña variación y es que, en época de lluvias, Panamá puede que quede cubierto por nubes durante un periodo de tiempo cada día, lo que según fuentes⁹ puede reducir entre un 9% y un 11% su incidencia.

Viento

Otra de las variables a tener en cuenta es el factor de viento. Panamá, como hemos mencionada anteriormente se encuentra a una latitud de 9º N, tal y como podemos ver en la figura 11, hace que se encuentre bajo la influencia de la llamada células de

⁸ ETESA (Empresa de Transmisión Eléctrica de Panamá), 2018.

⁹ Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). *Interpretación: Radiación Ultravioleta (UV)*.

Hadley¹⁰. Esa región de circulación del aire que se encuentra entre el ecuador y los 30°N, tiene un sistema de circulación en el cual el aire caliente del ecuador asciende por calentamiento y es desplazado hacia el norte hasta que una vez enfriado desciende otra vez, generando un sistema anticiclónico y dirigiéndose de nuevo hasta al sur generando así un viento en superficie, de manera teórica de componente sur.

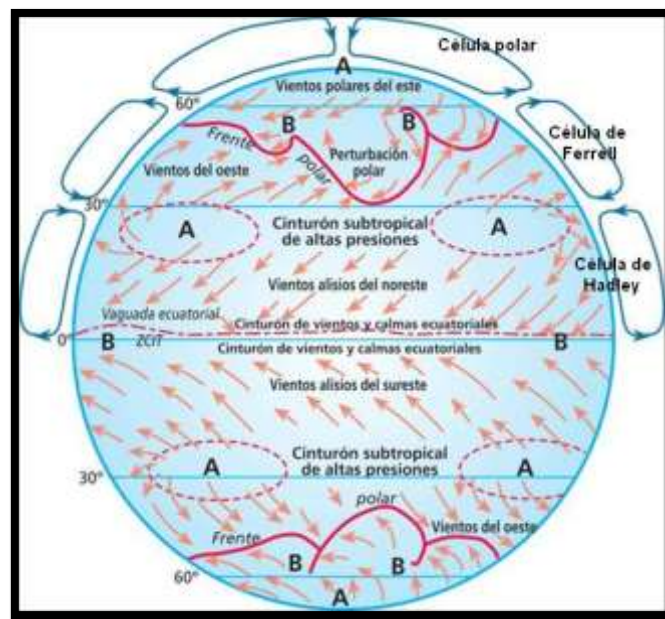


Figura 11. Células de circulación del viento. Blogspot: cambioclimático.

Sin embargo, se puede observar que esto no es así y esto es gracias al efecto producido por la rotación de la tierra la cual provoca una aceleración sobre esta circulación del aire llamada Aceleración de Coriolis¹¹ (Ac). Esta aceleración genera un desvío de la dirección del viento hacia al este de modo que coge un componente del sureste. Estos vientos que proceden de las zonas de altas presiones que se encuentran sobre los 35° de latitud y se dirigen en componente sur este hacia el ecuador se llaman los vientos alisios.

¹⁰ ETESA: Telemet e Hidromet, 2018.

¹¹ Descrita por el francés Gaspard Gustave de Coriolis y que responde a la fórmula: $Ac = -2 \omega \times v$.

Una vez se ha dado esta explicación sobre cual es el viento dominante en Panamá, podemos tener en cuenta los datos reales que recoge la agencia ETESA la cual ha publicado una carta con los vientos dominantes de Panamá los cuales quedan recogidos en la figura 12.

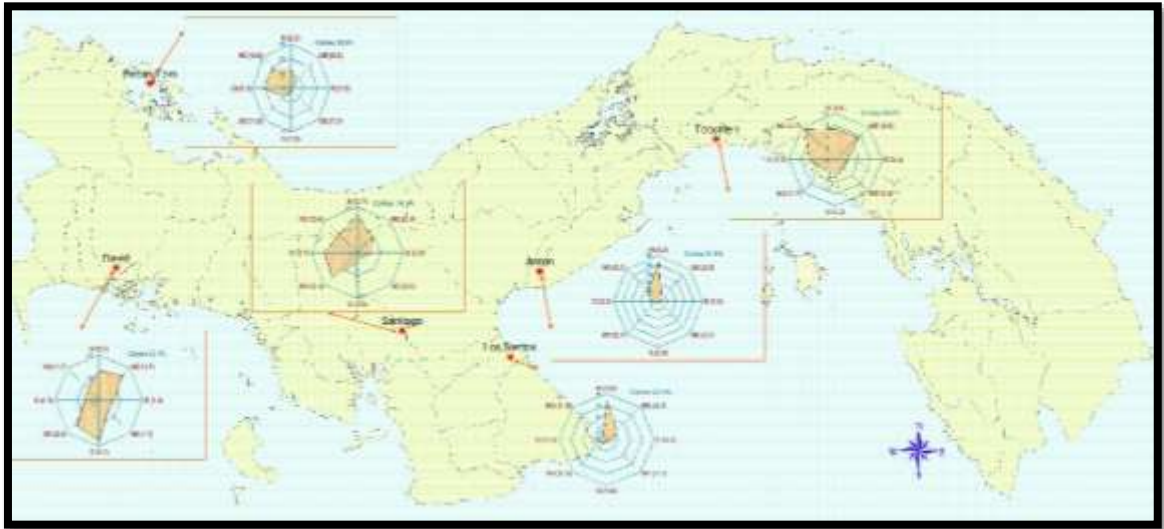


Figura 12. Vientos dominantes de Panamá. ETESA (Empresa de Transmisión de Electricidad SA).

En esta carta podemos observar como distintas estaciones meteorológicas del país han recogido datos sobre la dirección del viento y su intensidad. Se observa que mayormente, los vientos más dominantes en Panamá son los que vienen del Noreste. En cuanto a la referencia sobre intensidad, podemos ver como las mismas estaciones también nos pueden mostrar gráficas esclarecedoras.



Figura 13. Promedio histórico mensual de viento entre 1974 y 2005. ETESA (Empresa de Transmisión de Electricidad SA).

Como podemos observar en la figura 13, la velocidad máxima se registra en época seca ya que después con el desplazamiento de la ZCIT se instala la época de lluvias lo que provoca que disminuya el viento. En esta explicación sobre el viento cabe determinar que no siempre el viento que se registra en la zona descrita, la isla de Saboga va a ser así. Hay factores como pueden ser las mareas, las cuales vamos a ver al final de este capítulo, o la distribución de masas terrestres que pueden alterar el fenómeno del viento generándole algunas desviaciones lo que puede hacer que, cuando se cumplan ciertas condiciones, no sople el viento dominante.

Corrientes marinas

Además, otros factores a tener en cuenta en nuestro proyecto vienen a ser las corrientes marinas existentes en el golfo de Panamá en el cual se encuentra el archipiélago de Las Perlas. Para conocer mejor este comportamiento, debemos saber primeramente cual es la acción de las corrientes en el océano Pacífico y luego nos centraremos en el golfo de Panamá. Si se tienen en cuenta los datos recogidos por RSMAS Ocean Surface Currents¹², en el Océano Pacífico hay multitud de corrientes y contracorrientes las cuales vamos a ver representados de forma rápida en el siguiente esquema.

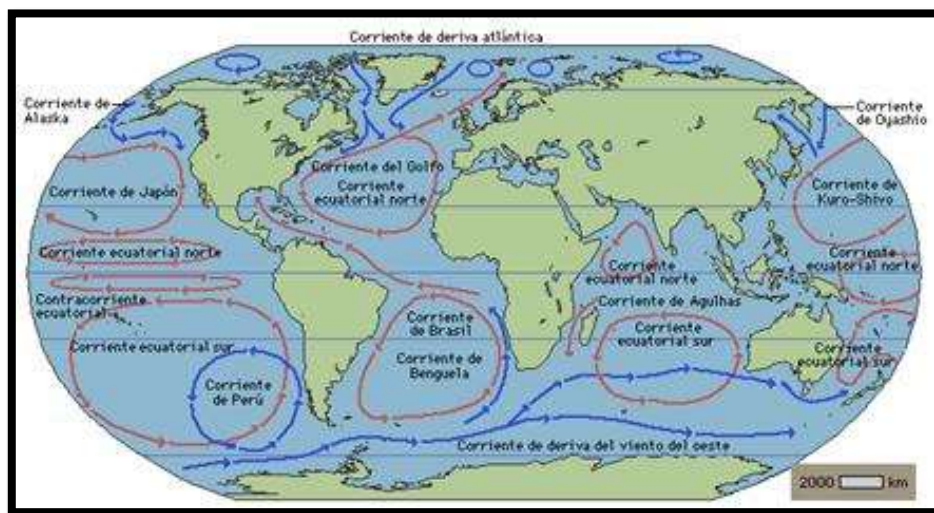


Figura 14. Circulación de corrientes marinas. Tecnoceano.

Como podemos ver en la figura 14, justo encima de este párrafo, hay numerosas corrientes en el Océano Pacífico y la mayoría siguen un mismo patrón. Las del hemisferio norte describen una rotación en sentido anti horario y los del sur en sentido horario. Esta tendencia es principalmente gracias al sentido de rotación de la Tierra, aunque el motivo de formación de las corrientes puede ser mucho más variado como por ejemplo los vientos dominantes en las zonas o la propia existencia de los continentes, ya que como podemos observar, la estructura es semejante a la de los vientos, pero en altura y sin dividirlos en células según la latitud. Si nos focalizamos en la imagen, podemos

¹² Edward, R. 2013, RSMAS, *Ocean Surface Currents*, Miami.

observar como en la zona del golfo de Panamá actúan una serie de corrientes, de las cuales vamos a desvelar más nombres ya que son de interés para el proyecto, que afectan a la circulación del agua en el golfo.

Primeramente, vamos a mencionar la contracorriente Ecuatorial la cual recibe el nombre de corriente de Cromwell¹³ y fluye en sentido oeste – este siguiente el paralelo del ecuador. Esta corriente circula a una velocidad aproximada de 1,5 m/s¹⁴ y a una profundidad de 30 metros. A continuación, vamos a hablar también de la corriente del Perú o también llamada corriente de Humboldt¹⁵ la cual fluye resiguiendo toda la costa oeste de América del Sur y desviándose hacia el oeste a medida que se acerca al ecuador por la conocida Aceleración de Coriolis. Es una de las corrientes frías más importantes del mundo ya que es la responsable de una variación del clima en la zona de del Perú y el Ecuador. Según su latitud, les correspondería un clima tropical bastante húmedo fruto de la evaporación del agua de los océanos que se encuentra a alta temperatura en estas latitudes. Sin embargo, la corriente de Humboldt que circula a una temperatura media de 4°C¹⁶ impide este ciclo convirtiendo así la zona en un clima mucho más árido de lo que le corresponde.

Es en este momento en el cual entra en acción la corriente que trae el movimiento de las aguas en el golfo de Panamá. Esta corriente cálida se denomina, la corriente de El Niño¹⁷, el nombre del cual proviene porque esta corriente acostumbra a aparecer en fechas de navidad por lo que los pescadores ecuatorianos y peruanos le pusieron el nombre de El Niño. Aunque esta corriente es famosa por su intensidad cíclica en períodos de 18 años¹⁸ la cual es capaz de impedir que la corriente de Humboldt alcance las latitudes de Ecuador y Perú trayendo así más humedad e intensas lluvias, nosotros

¹³ Cromwell, T. 1953, Journal of Marine Research, *Circulation in a meridional plane in the central equatorial Pacific*, Connecticut.

¹⁴ Valor muy alto por una corriente teniendo en cuenta que las corrientes ecuatoriales Norte y sur circulan a la mitad de velocidad.

¹⁵ Siguiendo así la tendencia de llamar las corrientes por el nombre que las descubre o describe.

¹⁶ Von Humboldt, A. 1802, Babel, *Viaje a las regiones equinociales del Nuevo Continente*, Paris.

¹⁷ Que no se debe confundir con el fenómeno meteorológico de El Niño. Aunque se han intentado relacionar nunca se ha demostrado una tendencia común.

¹⁸ Según el Ministerio de Ambiente de Perú.



nos centraremos en su aparición a lo largo de un año ya que es este el motivo por el cual hay una pequeña circulación de corrientes dentro del golfo de Panamá.

Esta corriente, como podremos observar en la figura siguiente a este párrafo, es estacional, lo que significa que solo aparece durante un tiempo a lo largo de un año. Más concretamente esta corriente aparece cuando la contracorriente de Cromwell, que como hemos mencionado anteriormente tiene una velocidad más alta de lo normal, se desplaza con especial fuerza fruto del calentamiento de estas aguas al ecuador. Cuando esta corriente llega a las costas de Centroamérica, una parte muy importante se desplaza hacia el Norte donde se une a la corriente Ecuatorial Norte, pero otra parte se desplaza hacia el sur siguiendo la costa de Panamá donde recibe el nombre de Corriente de Panamá¹⁹, trayendo así agua con temperaturas elevadas y el inicio de la estación de lluvias. Hay años, siguiendo el ciclo de 18 años que tiene la corriente de El Niño, la cual podemos ver en la figura 15, que la corriente llega a latitudes muy bajas²⁰ desplazando de este modo a la corriente de Humboldt la cual no llega a latitudes ecuatoriales y se desvía antes hacia las islas Galápagos. Este efecto representa la llegada de intensas lluvias a los dos países las cuales son altamente deseadas por agricultores y necesarias por los bosques tropicales que abundan en estas tierras.

¹⁹ Según Grenier, C. 2007, Universidad Andina Simon Bolívar, *Conservación contra natura: las islas Galápagos*, Quito, la corriente de El Niño cuando se desplaza resiguiendo las costas de Panamá recibe el nombre de corriente de Panamá.

²⁰ Hacia el sur, llegando a las costas de Perú y Ecuador.



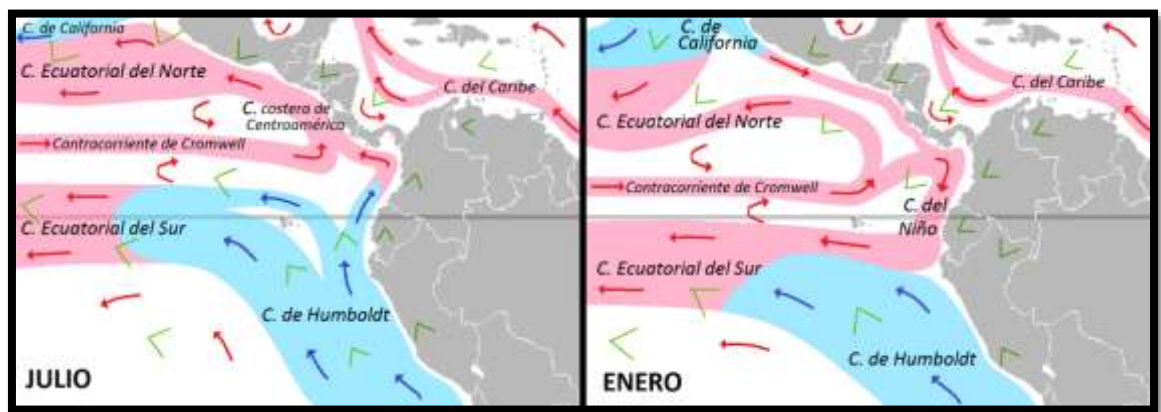


Figura 15. Corriente de El Niño. Wikipedia.

Una vez tenemos entendido cual es el sistema de corrientes en el cual se introduce el golfo de Panamá podemos adentrarnos en su circulación interna. Siguiendo la teoría expuesta en los párrafos anteriores, se puede resumir que la circulación en el Golfo de Panamá en la época seca, es decir cuando la corriente de El Niño no ejerce su influencia, el sentido es anti horario por el impulso de algunas de las reminiscencias de la corriente de Humboldt en cambio cuando esta agua es calentada e impulsada por la corriente de El Niño, el sentido cambia y es horario. Esta teoría es secundada por la Autoridad del Canal de Panamá (ACP) la cual mediante un estudio²¹ en el cual se refleja la variación de la corriente en el golfo según la aparición o no de la corriente de El Niño y su intensidad. Además, este estudio también tiene en cuenta otro factor que genera unas corrientes o flujos y es el caso de las mareas ya que estas corrientes de entrada y salida de aguas en el golfo ejercen una variación en el esquema de funcionamiento de las corrientes. La conclusión final del estudio refleja que las mareas contrarrestan la actuación de las corrientes reduciéndolas a velocidades de 0,5m/s aproximadamente y condicionando su existencia a la aparición corrientes de entrada y salida del golfo por efecto de las mareas la cuales vamos a explicar a continuación.

²¹ Baloyes, O. 2003, Moffat and Nichol, *Estudio de las mediciones de corrientes marinas en la Bahía de Panamá*, Panamá.

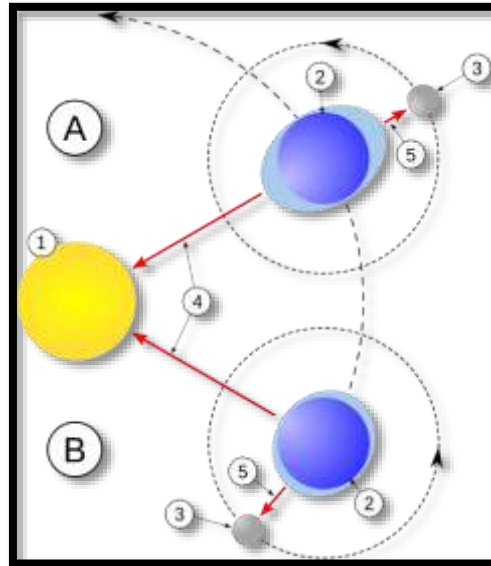


Figura 16. Efecto del Sol y la Luna en las mareas. Sailand trip.

Mareas

Finalmente, el factor que vamos a tener en cuenta va a ser la marea. Como sabemos, las mareas son las variaciones cíclicas del nivel del agua²² por efecto de la fuerza gravitatoria de la Luna y del Sol. Estas variaciones representan la formación de corrientes conocidas como flujo y reflujo entre la pleamar, cuando la marea está en su punto más alto de amplitud y la bajamar, cuando la marea se encuentra en el punto más bajo.

La diferencia entre la altura de la mar en la pleamar y la bajamar se llama la amplitud de la marea, la cual varía según la zona geográfica de la Tierra y en esa misma, dependiendo de la posición de los dos astros que ejercen más fuerza: el Sol y la Luna. En la figura 16,

²² En masas de agua relativamente pequeñas (en proporción al tamaño de la Tierra), las mareas son casi imperceptibles, como en el caso del Mar Mediterraneo cuya amplitud es de aproximadamente unos 20 cm.

se observan las situaciones cuando la Luna y el Sol ejercen una variación de la amplitud de las mareas. Cuando el Sol y la Luna se encuentran ejerciendo una fuerza de vector perpendicular entre ellas sobre un hipotético medio homogéneo de una supuesta Tierra formada solo por agua, se genera la mínima amplitud puesto que las dos fuerzas se contrarrestan (caso B). Sin embargo, cuando estos dos cuerpos centran los vectores de la atracción gravitatoria en una misma dirección, aunque puede ser distinto sentido, las amplitudes de las mareas serán máximas (caso A).

La variación de la amplitud puede ser calculada a partir del coeficiente de mareas el cual es un índice que se recoge en unas tablas, como el ejemplo de la tabla 2, el cual a partir de datos de la Luna como son la declinación, el paralaje y la distancia de la tierra nos permitirá saber la importancia de la altitud. Su valor más alto es el 120 (máxima amplitud) y varía periódicamente, como podemos ver en la tabla 2 de abajo, en función del calendario lunar.

| DIA | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
|-----|---------|---------|---------|---------|---------|-------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|
| 1 | 100.102 | 105.104 | 104.106 | 100.97 | 95.82 | 68.65 | 67.65 | 68.66 | 62.57 | 53.49 | 53.57 | 61.65 |
| 2 | 103.103 | 101.98 | 106.106 | 93.68 | 78.74 | 62.58 | 63.60 | 63.60 | 53.50 | 47.47 | 63.69 | 69.72 |
| 3 | 101.99 | 93.88 | 104.100 | 83.77 | 69.64 | 55.51 | 58.56 | 57.55 | 48.48 | 50.55 | 75.80 | 75.78 |
| 4 | 95.91 | 82.76 | 96.91 | 71.64 | 59.54 | 48.46 | 54.52 | 53.52 | 51.55 | 61.68 | 85.90 | 81.83 |
| 5 | 86.80 | 69.62 | 85.78 | 58.52 | 48.44 | 44.43 | 51.50 | 51.53 | 60.67 | 75.83 | 93.96 | 84.85 |
| 6 | 75.69 | 56.50 | 71.64 | 46.40 | 41.38 | 43.45 | 50.52 | 55.59 | 74.81 | 89.95 | 97.97 | 95.85 |
| 7 | 64.59 | 45.41 | 57.51 | 36.33 | 36.36 | 47.51 | 54.57 | 63.69 | 88.95 | 100.103 | 97.95 | 84.82 |
| 8 | 54.51 | 39.38 | 45.39 | 32.33 | 38.41 | 55.59 | 60.66 | 75.81 | 100.104 | 105.106 | 93.89 | 80.78 |
| 9 | 48.47 | 39.41 | 35.33 | 35.39 | 45.50 | 65.70 | 69.74 | 87.93 | 107.109 | 106.104 | 85.81 | 75.71 |
| 10 | 47.47 | 44.48 | 32.34 | 45.50 | 55.61 | 75.80 | 79.84 | 98.102 | 109.107 | 101.96 | 76.71 | 68.64 |
| 11 | 49.51 | 52.56 | 37.42 | 56.63 | 67.73 | 85.89 | 89.93 | 104.106 | 104.100 | 91.86 | 65.60 | 60.56 |
| 12 | 54.57 | 61.65 | 47.52 | 69.75 | 79.84 | 93.96 | 96.99 | 106.105 | 95.89 | 79.72 | 54.49 | 53.49 |
| 13 | 60.63 | 70.74 | 58.64 | 80.86 | 89.93 | 98.99 | 100.101 | 102.98 | 82.75 | 66.59 | 44.40 | 46.44 |
| 14 | 66.69 | 77.80 | 69.74 | 90.94 | 97.99 | 99.98 | 100.98 | 93.88 | 67.60 | 52.46 | 37.35 | 42.41 |
| 15 | 72.74 | 83.85 | 79.84 | 97.99 | 100.100 | 95.92 | 96.92 | 82.75 | 51.46 | 40.35 | 35.36 | 42.43 |
| 16 | 76.77 | 87.88 | 88.91 | 100.100 | 99.97 | 89.85 | 88.83 | 66.61 | 41.36 | 33.32 | 29.43 | 46.49 |
| 17 | 78.79 | 88.88 | 94.96 | 99.97 | 94.90 | 80.75 | 76.72 | 55.50 | 34.33 | 33.36 | 48.53 | 53.58 |
| 18 | 79.79 | 87.85 | 96.96 | 93.89 | 85.79 | 71.67 | 67.62 | 45.42 | 35.38 | 40.45 | 58.64 | 63.68 |
| 19 | 78.77 | 83.80 | 95.93 | 83.78 | 74.69 | 63.60 | 58.54 | 40.40 | 42.47 | 50.56 | 70.75 | 73.78 |
| 20 | 75.72 | 76.72 | 90.86 | 71.65 | 64.60 | 58.57 | 51.50 | 41.44 | 53.58 | 62.68 | 80.85 | 83.87 |
| 21 | 71.68 | 67.62 | 82.76 | 59.55 | 57.56 | 57.57 | 49.50 | 47.51 | 63.68 | 73.78 | 89.92 | 91.94 |
| 22 | 65.62 | 58.54 | 70.64 | 51.50 | 56.57 | 59.60 | 51.53 | 56.60 | 73.78 | 83.87 | 95.96 | 96.97 |
| 23 | 60.57 | 51.50 | 58.53 | 51.54 | 60.63 | 62.64 | 55.58 | 64.68 | 82.85 | 91.94 | 97.97 | 98.97 |
| 24 | 55.53 | 50.53 | 50.48 | 59.64 | 66.69 | 66.68 | 61.64 | 72.75 | 88.90 | 95.97 | 95.93 | 95.93 |
| 25 | 53.54 | 58.64 | 48.52 | 69.75 | 72.75 | 70.72 | 67.69 | 78.81 | 92.93 | 97.96 | 89.85 | 89.85 |
| 26 | 56.59 | 70.77 | 57.63 | 80.84 | 78.80 | 73.74 | 71.73 | 83.84 | 93.92 | 94.91 | 81.76 | 81.76 |
| 27 | 64.69 | 84.91 | 70.76 | 88.91 | 81.82 | 75.75 | 75.76 | 85.85 | 90.87 | 87.82 | 70.65 | 72.67 |
| 28 | 75.81 | 96.101 | 83.89 | 93.94 | 83.83 | 75.75 | 77.77 | 85.84 | 84.79 | 76.71 | 61.58 | 64.60 |
| 29 | 87.93 | | 94.98 | 94.93 | 82.81 | 74.73 | 77.77 | 83.80 | 74.69 | 65.59 | 56.55 | 58.57 |
| 30 | 97.101 | | 101.102 | 91.89 | 79.77 | 71.69 | 76.75 | 78.74 | 63.58 | 54.51 | 56.58 | 56.57 |
| 31 | 104.105 | | 102.102 | | 74.72 | | 73.71 | 70.66 | | 48.50 | | 58.60 |

Tabla 2. Coeficiente de mareas en el Golfo de Panamá en cm. Tablas de mareas.

Como hemos comentado, la teoría comentada se daría en el hipotético caso que la Tierra no tuviera continentes, así que la explicación sirve, pero no es 100% fiable. La aparición de los continentes genera que unas irregularidades en esta teoría ya que la variación de la amplitud será mucho menor²³ y se generaran puntos en medio del océano conocidos

²³ En la primera teoría, la masa de agua que se mueve tiene un diámetro de 20.000 Km, la mitad de la Tierra, mientras que en la realidad, la máxima longitud de agua que encontramos sin un continente, se encuentra en el Océano Pacífico con una longitud de 10.000 Km.

como puntos anfidrómicos los cuales, el sumatorio de las fuerzas ejercidas por la marea y por el desplazamiento del agua será igual a cero y por lo tanto no existirá la marea.

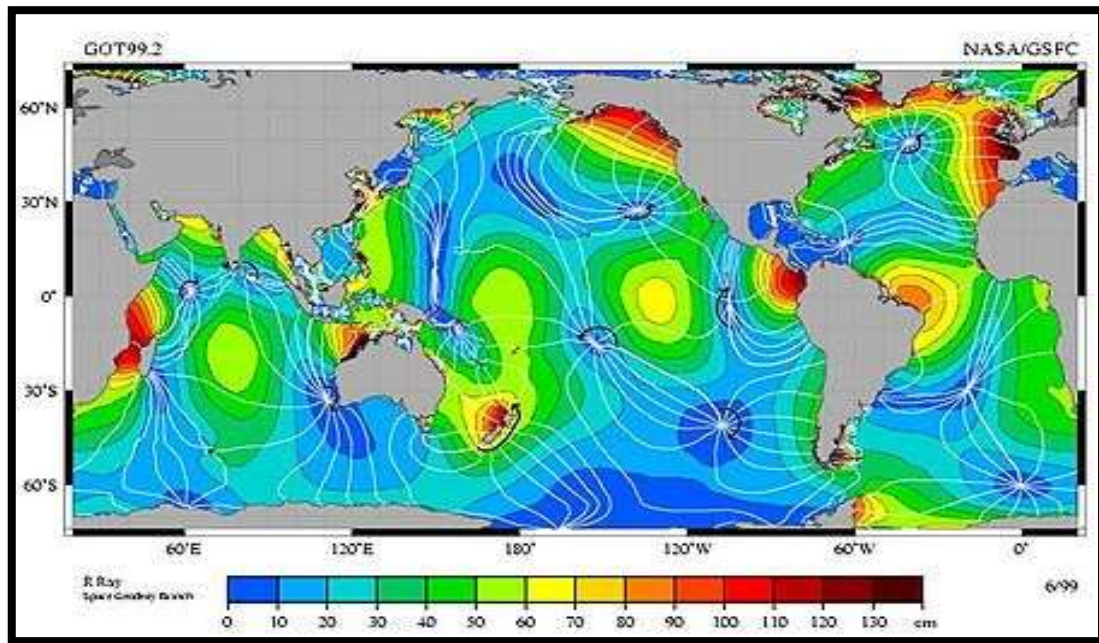


Figura 17. Amplitudes de marea y puntos anfidrómicos. Escacademic.

En la figura 17, podemos ver la existencia de estos puntos anfidrómicos donde la amplitud de la marea es cero, son los puntos donde convergen las líneas blancas, y por el contrario como en la costa la amplitud de la marea es máxima, las cuales están marcadas en rojo. En esta misma imagen podemos observar como la zona que está siendo objeto de investigación en este proyecto constituye una de las zonas con una amplitud más alta de la Tierra. Según las fuentes en las que se ha basado el trabajo²⁴, la amplitud de la marea en la zona de la isla de Saboga es aproximadamente de unos 3 metros y medio de media a lo largo del año, con sus respectivas variaciones. Por ejemplo, si vemos los datos de unos días en concreto, uno donde el coeficiente sea muy

²⁴ ETESA: Hidromet, 2018

alto (alrededor de 100) y otro donde sea bajo (menor de 50), podremos ver como varía la amplitud de la marea según la posición entre la luna y el sol.

Día 1 de marzo de 2018:

Día 10 de marzo de 2018:

Coficiente: 106

Coficiente: 32

Amplitud:

Amplitud:

| Océano Pacífico | | |
|-----------------|----------|-----------|
| | Hora | Nivel (m) |
| ↑ Marea Alta | 03:00 AM | 4.79 |
| ↓ Marea Baja | 09:20 AM | -0.37 |
| ↑ Marea Alta | 03:33 PM | 4.88 |
| ↓ Marea Baja | 09:46 PM | -0.34 |

| Océano Pacífico | | |
|-----------------|----------|-----------|
| | Hora | Nivel (m) |
| ↓ Marea Baja | 03:54 AM | 0.91 |
| ↑ Marea Alta | 10:06 AM | 3.47 |
| ↓ Marea Baja | 04:14 PM | 1.22 |
| ↑ Marea Alta | 10:28 PM | 3.54 |

Tabla 3. Baja mar y pleamar en el Golfo de Panamá. Tablas de mareas.

Como podemos observar en la tabla 3, en momentos de marea viva, es decir cuando la amplitud de ésta es mayor, por los efectos de la fuerza de gravedad realizados por las masas de la Luna y el Sol, tiene un valor de unos 4 metros mientras que cuando nos encontramos con una situación de marea muerta, es decir cuando las fuerzas de los astros son contrarrestadas, las amplitudes rondan los 2 metros y medio.

Esta amplitud genera una energía potencial sobre la cual se forman los flujos y los reflujos. De esta manera, como veremos más adelante, también podemos encontrar formas de generar electricidad.

En este punto hemos conocido en profundidad las características de la zona y sus particularidades con el fin de poder formarnos una buena tesis sobre cuáles son los recursos más rentables que podemos usar para generar energía eléctrica a través ellos. A continuación, se describirán las regulaciones en el ámbito legal en el archipiélago de Las Perlas para poder implementar las energías sostenibles en esta zona.

Ámbito legal

Este capítulo del proyecto consiste en conocer con mayor grado de profundidad, todo lo que podamos sobre el archipiélago de Las Perlas y concretamente la Isla de Saboga de modo que se analizarán, el ámbito legal, ya que las decisiones futuras a tomar dependerán en medida a lo que la legislación vigente nos permita.

En este capítulo no vamos a realizar una introducción sobre el sistema legal de Panamá²⁵, sino a conocer cuáles son las leyes que hacen referencia al archipiélago y concretamente a las que tienen que ver con la implementación de energías renovables o modificación del territorio.

Aunque no haya una amplia cantidad de textos legislativos referentes a la zona, sí que hemos encontrado un par de menciones que nos pueden ser de gran ayuda cuando lleguemos al capítulo de conclusiones y tengamos que determinar las energías más óptimas para su aplicación.

Primeramente, encontramos el texto más importante que se refiere al archipiélago de Las Perlas que es la Ley 18 de 2007 que “Declara Zona Especial de Manejo Marino – Costera al Archipiélago de Las Perlas” esta ley publicada el 4 de junio de 2007 tiene como principal objetivo proteger los recursos naturales marinos y costeros con el fin de mantener la biodiversidad de los ecosistemas a fin de poder mejorar la calidad de vida de las comunidades que dependen de estos recursos²⁶. La ley se centra mayormente en la preservación de las islas en su estado actual e impide que se realice cualquier tipo de construcción en excepción de dos casos: por el propio uso de los habitantes y por el desarrollo turístico, previa aprobación de un estudio de las consecuencias medioambientales. El cuerpo fundamental de la ley se encuentra en el artículo número 10 el cual describe y numera cuales son las prohibiciones que conllevan la aprobación de la ley. La mayoría de ellas se refieren a la conservación del medio, tanto vegetal como

²⁵ Basado en el sistema español, es decir, a partir de una constitución.

²⁶ Mencionadas en el capítulo sobre la estructura social en el archipiélago de las Perlas.



animal prohibiendo acciones como la prohibición de la pesca de arrastre, de la extracción de coral, la pesca de algunas especies en concreto como tiburones y langostas, etc.

En resumen, esta ley intenta frenar la masificación que estaba sufriendo y el aumento de turistas que estaban llegando como consecuencia los cuales su actividad generaba un daño al ecosistema del archipiélago que aplicado de forma duradera podría conllevar una gran pérdida de la biodiversidad y del entorno que representan hoy el archipiélago de las Perlas y sus islas. Sin embargo, tampoco cierra la puerta al desarrollo turístico así que la buena implementación de la ley depende de la aplicación que realicen las propias autoridades respecto a las acciones que se quieren llevar a cabo en las islas.

El segundo texto legal que podemos recoger en este proyecto es una concesión, concretamente con el número de resolución: JD-3460, del 2002²⁷ por la cual se autoriza a la empresa Térmica del Noreste a llevar a cabo la construcción de una planta de generación de energía a partir de un motor de combustión interna. En un principio esta estación tenía que ir situada, según la propia resolución, a la isla de Contadora, pero se decidió finalmente, situarla a la isla de Saboga y aumentar su potencia a 3245 kW, con el fin de poder abastecer a las dos islas y que ésta estuviera formada por cuatro generadores de electricidad.

A través de este texto, el único encontrado que hace referencia a la capacidad de producción y la potencia de la estación de generación, podemos deducir que esta isla se encuentra en una situación de energía alarmante así como también, si tenemos en cuenta que como hemos visto en capítulos anteriores, un 80% de la población puede tener energía eléctrica en casa, también podemos saber, cual es el total de potencia que necesitamos generar, siempre aproximadamente ya que la energía se debe producir al momento que se demanda ya que no se puede almacenar. De este modo si sabemos

²⁷ Modificada otras dos veces a través de la Resolución número: JD-3516 del 2002 y AN nº203-Elec.

que el 80% corresponde a aproximadamente a una potencia de 3245 kW, podemos deducir²⁸ que:

$$\frac{80}{100} = \frac{3245}{x}; x = \frac{3245 \times 100}{80} = 4056,25 \text{ kW (1)}$$

De este modo, sabemos que aproximadamente, tendríamos que cubrir una demanda máxima de 4056,25 kW mediante el uso de las energías renovables o, sin embargo, intentar cubrir un tan por ciento significativo de esta cantidad.

Hasta aquí llega la explicación sobre la situación legal, leyes que pueden influenciar las medidas que tomaremos al final del proyecto sobre las energías renovables que pueden ser más potenciales en la generación de electricidad. Estas fuentes de energías son las que vamos a conocer en el siguiente capítulo.

²⁸ A través de una regla de tres.

Capítulo II: Introducción a las energías renovables

La gran demanda de energía eléctrica en el mundo actual ha llevado a la sociedad a plantearse la posibilidad de encontrar nuevas fuentes de energía que nos permitan abastecernos de energía eléctrica. Es comúnmente conocido que las energías no renovables, es decir, aquellas que usan medios de cantidad limitada para producir energía, no pueden ser hegemónicas en este sector puesto que tarde o temprano van a empezar, si no es que han empezado ya, a escasear. Es a partir de esta hipótesis que queda claro que el futuro se debe basar en las energías renovables y por esto vamos a empezar a realizar un estudio de generalidades sobre las más comunes para poder ver su potencial el caso que se analiza.

Sin embargo, no hay que confundir las energías renovables como a energías modernas. Su uso, es decir el aprovechamiento de elementos naturales potencialmente ilimitados, ya viene de tiempos antiguos: el viento ayudó a los primeros navegantes a descubrir nuevas tierras, así como nuevos enclaves comerciales; los molinos de agua o la disposición de las casas que aprovechaban el sol al máximo son también signos de que estas energías han sido presentes desde el inicio de nuestra civilización.

Hoy en día, el tipo de energía que nos permite tener el nivel de vida actual es la energía eléctrica, la electricidad. La electricidad es la fuente de energía que utilizan la mayoría de objetos que utilizamos hoy en día alcanzando el 90%²⁹ respecto a otras fuentes de energía que fueron hegemónicas como por ejemplo el gas, aunque éste mismo está sufriendo una regeneración fruto de que para su uso no hace falta realizar un impacto medioambiental tan fuerte como con la electricidad.

Justamente por este motivo, la producción de electricidad recientemente ha estado en el punto de mira de la controversia. Tradicionalmente se había usado el carbón para al fin y se fueron descubriendo otros métodos como la hidroeléctrica, la nuclear, etc. Sin

²⁹ IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), 2017, Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital.

embargo fue a partir de la década de los ochenta que el descubrimiento del efecto invernadero y de los gases que lo producían, las industrias responsables de tales emisiones, entre las cuales están algunas centrales generadoras de energía eléctrica, fueron altamente criticadas por la opinión mediática lo que produjo que se hubieran de buscar otras formas de generar energía más respetuosas con el medio ambiente, lo que conllevó al desarrollo de métodos de generación de energía eléctrica mediante “combustibles” que sean ilimitados y no generen residuos peligrosos para el medioambiente, de esta manera nos adentramos al mundo de las energías renovables.

Generación de energía eléctrica

Debido al principal motivo de no poder almacenar energía³⁰, en este caso la energía eléctrica, la humanidad ha tenido que responder a este problema buscando por todos los medios como generarla en el momento que es demandada. Por este motivo su generación, y el proceso de obtenerla, es altamente necesario para poder entender cada uno de los tipos de generación de energía eléctrica que existen hoy en día.

Primeramente, hay que tener en cuenta la demanda de energía eléctrica. Sea en una ciudad de 10 millones de habitantes o en un pueblo de 200 habitantes, siempre que las condiciones meteorológicas no sean extremas, la tendencia de la demanda de electricidad será la misma. Si se analiza un gráfico, como el que veremos a continuación, en la figura 18, de la Red Eléctrica Española, podremos observar que existen horas pico, aquellas donde la demanda es muy alta y horas valle en las cuales la demanda es muy baja. Obviamente estas variaciones vienen dadas por el día a día de los ciudadanos. Cuando dormimos casi no gastamos electricidad más que para los elementos indispensables como los frigoríficos u otros electrodomésticos, en levantarnos empezamos a consumir: encendemos luces, vamos a trabajar, etc. Durante la tarde, cuando la gente va saliendo del trabajo disminuimos un poco el consumo y finalmente, al terminar el día por la noche también aumentamos la demanda a raíz de encender luces, cocinar y momentos de ocio.

Esta demanda debe ser cubierta a partir de las centrales de generación que hay en nuestro país³¹ las cuales deben ir regulando la producción o encendiéndose o parándose según la demanda. Obviamente, hay tipos de centrales, como por ejemplo las centrales nucleares, las cuales no pueden ser expuestas a tantas variaciones y son las que siempre se mantienen en marcha para compensar la demanda básica. El resto de centrales, como las centrales térmicas de combustión o las centrales hidráulicas y los aerogeneradores y

³⁰ Hoy en día se puede almacenar aunque en pequeñas cantidades, en forma de pilas o baterías.

³¹ Hay casos en que un país no puede ofrecer toda la demanda reclamada por lo que compra electricidad a otros países.



las centrales solares, pueden usarse como elementos de soporte en las horas pico y momentos de alta demanda.



Figura 18. Demanda y generación de electricidad en España. REE (Red Eléctrica de España).

La obtención de la energía eléctrica pasa por la transformación de otros tipos de energía, como por ejemplo la cinética, la potencial, la química en energía eléctrica y el procedimiento para la obtención de la misma, en la mayoría de casos, es muy parecido. Para tal transformación de la energía se precisa de un elemento básico, en excepción de la energía eléctrica generada a través de células fotovoltaicas, como es el alternador, que transforma la energía cinética o mecánica de una turbina, la cual variará según la fuente de energía usada para que rote, en energía eléctrica alterna a una frecuencia fija, tal y como indica su nombre.

El funcionamiento de alternador es muy simple, mediante la variación de un flujo sobre un conjunto de espiras se genera una intensidad eléctrica variable y de este modo se

consigue la energía eléctrica. Este, como podemos ver en la figura 19, está compuesto por dos partes: el estator, parte fija que no se mueve y el rotor, parte móvil la cual rota por dentro del estator. El rotor está formado por un electroimán que al girar produce un flujo electromagnético variable y el rotor por un devanado, o también llamado bobina. Estos dos elementos combinados, el giro del rotor y las bobinas del estator, de acuerdo con Faraday³² generan energía eléctrica variable.

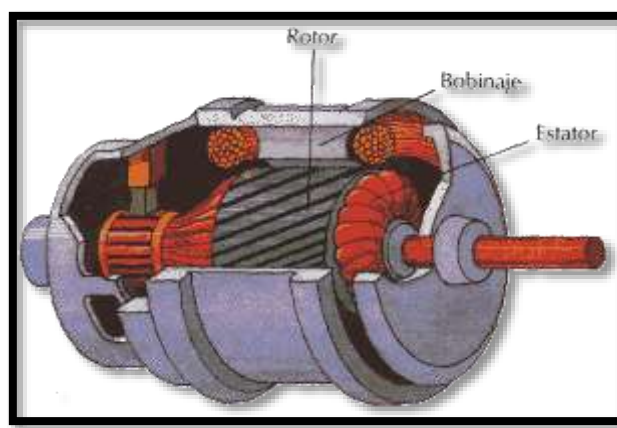


Figura 19. Partes de un alternador. Sapiensman.

Para realizar el giro del alternador y en su consecuencia, electricidad, hace falta que una turbina rote y para conseguirlo, se usan distintos tipos de energía los cuales se dividen³³ en energías no renovables, las que usan combustibles limitados, es decir, que provienen de una fuente de energía que se puede terminar en la naturaleza porque se encuentra en cantidad limitada y las renovables, las cuales usan fuentes de energía teóricamente³⁴ inagotables como pueden ser la energía solar, eólica, la hidráulica, etc.

³² Michael Faraday: físico inglés del siglo XIX que entre sus estudios realizó investigaciones sobre electricidad y magnetismo descubriendo de esta manera que un flujo variable magnético que atraviesa un conductor puede producir una corriente alterna.

³³ Existen muchos tipos de clasificación de las Fuentes de producción de energía eléctrica y en este caso se ha usado la que era más explicativa para el entender de nuestro proyecto.

³⁴ Muchas de ellas provienen por el efecto del Sol y se considera que se regeneran más rápido que nosotros las consumimos y en el hipotético caso que se terminen va a ser dentro de millones de años, cuando el Sol entre en sus últimas fases de vida.

En el ámbito de las energías no renovables³⁵, encontramos las centrales termoeléctricas las cuales usan el calor para la generación de la energía eléctrica. Este calor, calienta un fluido, normalmente agua que la convierte en vapor el cual a alta presión hace girar una turbina que a su vez se encarga de girar a un alternador y de este modo se obtiene energía eléctrica.

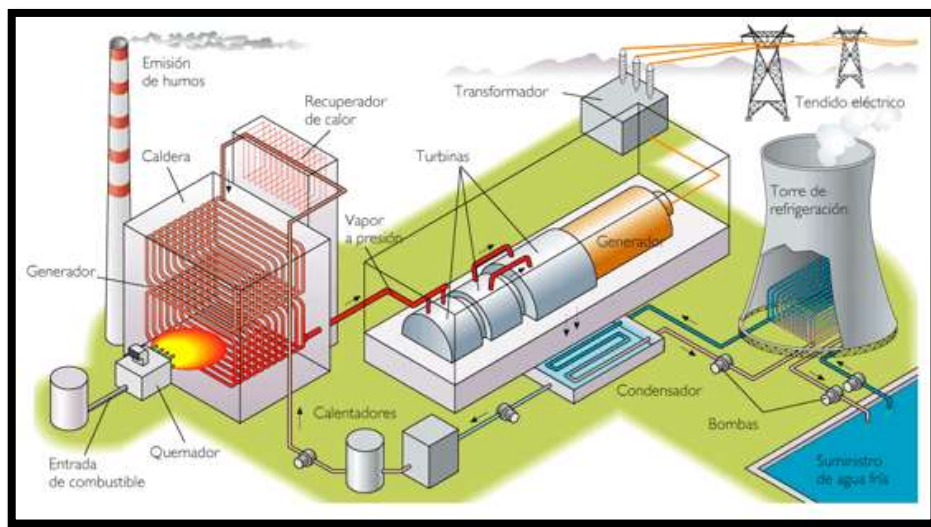


Figura 20. Central Térmica de Combustión. Blog de tecnología.

En este caso encontramos las centrales térmicas de combustión, como la de la figura 20, las cuales usan la combustión de combustibles fósiles³⁶ para generar calor³⁷ a presión y las centrales nucleares las cuales usan el calor desprendido de la reacción de fisión que se produce en un átomo de Uranio³⁸ cuando absorbe un neutrón. La estructura de la infraestructura es muy similar a las centrales térmicas de combustión cambiando solo la

³⁵ Aunque también hay algún tipo de energía no renovable que usa el calor como fuente principal de energía aunque este es mucho más minoritario.

³⁶ Procedentes de los restos orgánicos de seres vivos acumulados hace millones de años que se fosilizan y se convierten en hidrocarburos.

³⁷ En el ámbito de la generación de energía, estas centrales son las principales responsables de la emisión de CO₂ a la atmósfera debido a la reacción química de la combustión de los combustibles que da como resultado el dióxido de carbono y el agua.

³⁸ Isotopo 235.

parte donde se genera el calor ya que en este caso una reacción incontrolada³⁹ de fisión de átomos puede generar una alta cantidad de energía que se libere de repente generando así lo que se conoce como bomba atómica. En la figura 21, podemos observar los pasos por los que se lleva a cabo una reacción de fisión de un átomo de Uranio 235⁴⁰. Primeramente (1), el átomo en cuestión absorbe un neutrón el cual produce que el átomo de Uranio 235 se vuelva en un Uranio 236 altamente inestable (2) y como consecuencia de tal inestabilidad, este se divide en dos elementos: el Kriptón y el Bario, y otras subpartículas (3) generando una liberación de energía. A su vez durante la fisión⁴¹ algunos neutrones son liberados y vuelven a unirse a otros átomos de Uranio 235 y se repite el proceso. Esto, debido a su naturaleza repetitiva, tiene el nombre de reacción en cadena.

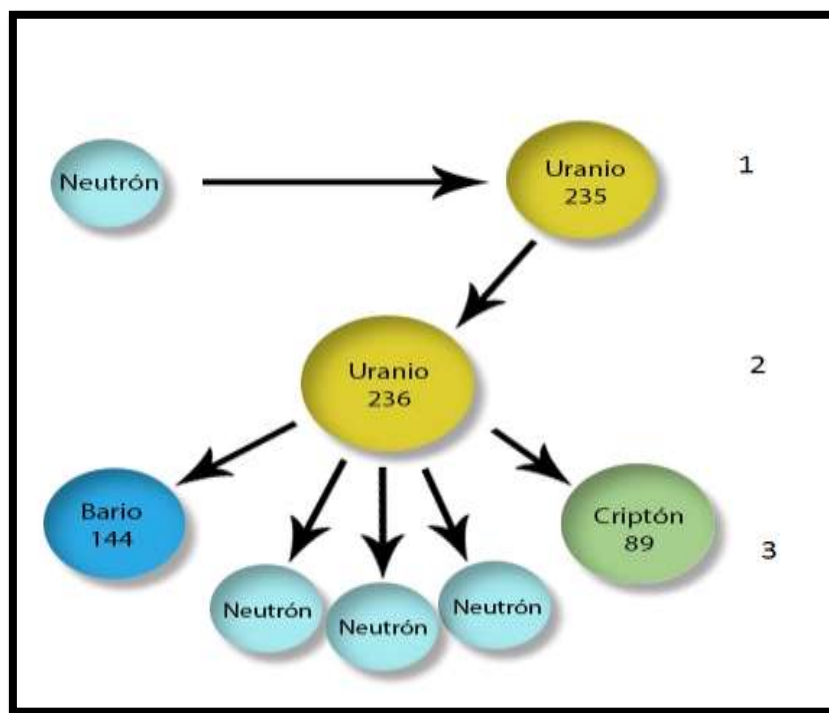


Figura 21. Reacción de fisión nuclear. Foro nuclear.

³⁹ En las centrales nucleares se usan unas barras que absorben algunos neutrones que se producen en las reacciones con el propósito de controlar la reacción.

⁴⁰ Isotopo más común en los casos de producción de energía.

⁴¹ Procedimiento que tiene lugar en el núcleo de un átomo el cual se divide en dos o más átomos y otros elementos como neutrones.

Como podremos ver en el esquema al final de este capítulo, hay otro tipo de energía conocida como energía térmica solar que también usa el calor para generar electricidad siguiendo la misma estructura que las anteriores pero con la diferencia que funciona concentrando los rayos de sol en paneles que calientan el agua hasta convertirlo en vapor y accionar la turbina, como podemos ver en la figura 22. Este tipo de energía puede también ser usado para generar agua a alta temperatura y ser usada como agua sanitaria u otros servicios.

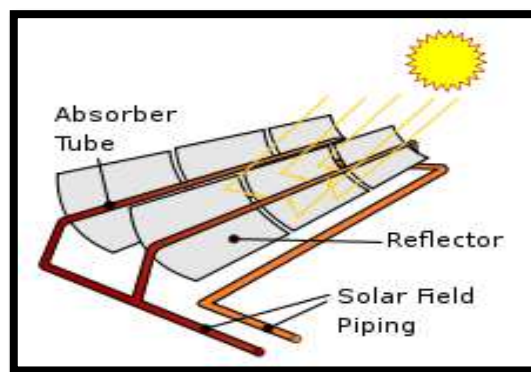


Figura 22. Paneles solares cilíndricos. Energía Solar.

A continuación, vamos a proceder a explicar el proceso de generación de energía eléctrica a través de energías renovables⁴² destacando las que pueden ser de especial interés para el proyecto que estamos desarrollando. Recordando que, por definición, las energías renovables, es decir, las fuentes de energía que usamos para generar electricidad de manera que no implique un daño⁴³ para el medio ambiente, son aquellas que teóricamente, son inagotables ya que provienen de Sol o derivados del Sol.

⁴² IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), 2017.

⁴³ Siempre teniendo en cuenta el hecho que algunas de estas fuentes de energía pueden generar otros tipos de contaminación y afectaciones al medio ambiente.

El proceso de generación eléctrica tiene un denominador común en todos los casos, menos en el caso de la generación eléctrica mediante células fotovoltaicas, el cual es el alternador. Éste a su vez será accionado por una turbina⁴⁴ que habrá sido impulsada por la fuente de energía primaria. De este modo el esquema que nos queda sería el siguiente.

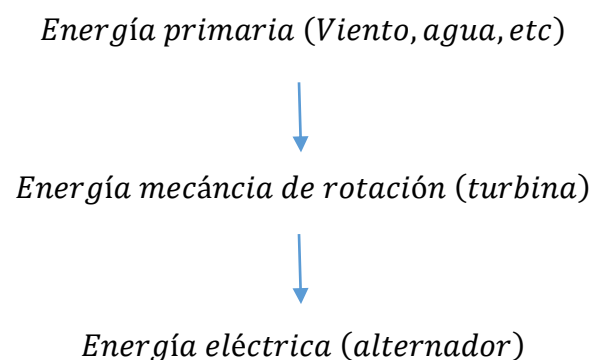


Figura 23. Transformación de la energía

Por terminar, si unimos el esquema anterior con cada una de las fuentes de energía que hemos visto en este capítulo, podremos visualizar la figura 23 que viene a ser un resumen de todo lo contado hasta el momento: el proceso de generación eléctrica tanto de las energías renovables como de las no renovables. Es destacable observar, como se ha ido mencionando que la energía eléctrica que se produce a partir de células fotovoltaicas va por otro camino en este ideograma ya que el proceso es distinto y será contado en el apartado de la energía fotovoltaica.

⁴⁴ El tipo variará según la fuente de energía inicial que se usa para hacerla girar.

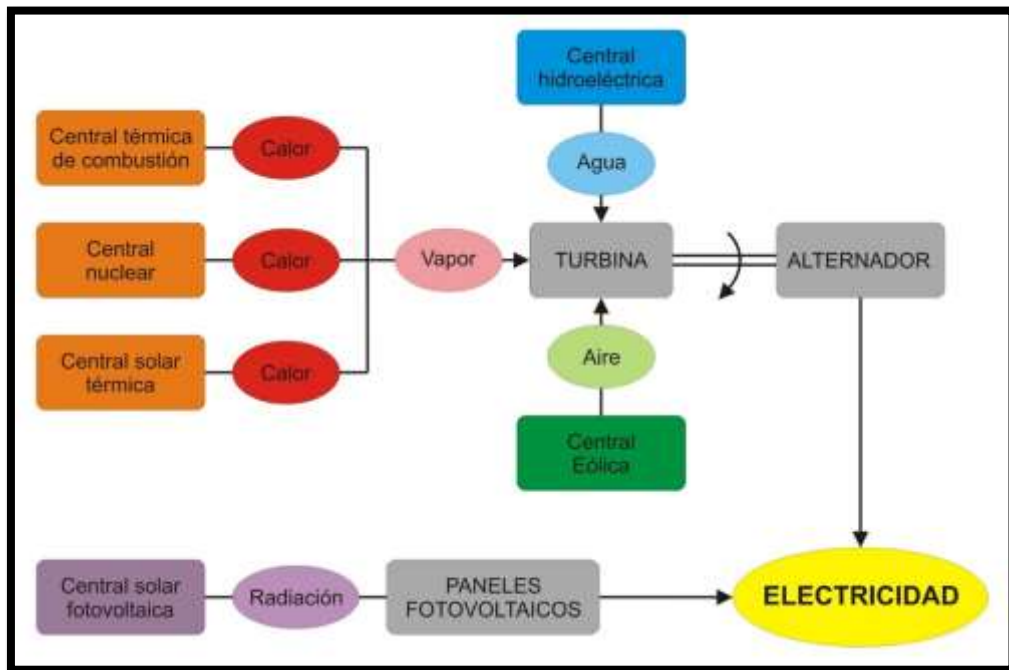


Figura 24. Esquema tipos de generación eléctrica. EduXunta.

Finalmente, vamos a proceder a conocer cada una de las fuentes de energía renovable que nos permiten transformarlas en energía eléctrica. Estas serán: la energía hidráulica, en la cual veremos la energía hidroeléctrica, la mareomotriz y la undimotriz; la energía eólica, la energía solar, la energía geotérmica y la energía generada a partir de la biomasa. En el próximo capítulo veremos cada una de ellas haciendo hincapié en las energías renovables que tienen un potencial elevado para ser aplicadas en nuestro proyecto. Una vez conozcamos cuales son las características de cada una de ellas y las variables por las cuales podemos obtener un rendimiento elevado, lo compararemos con las características ya mencionadas de la zona donde las vamos a implementar, la Isla de Saboga, y decidiremos cuales o cual la energía que encaja mejor.

Las energías renovables

Energía Hidráulica

Como se ha comentado anteriormente en este proyecto, la energía, aunque tradicionalmente se usa la palabra “generar” para referirnos a la producción de la energía eléctrica, se transforma mediante a partir de otras energías y en este caso vamos a conocer la generación de energía mediante el agua, tanto la generada en embalses de ríos, como la generada usando la energía de las mareas y de las olas del mar.

Energía hidroeléctrica

La energía hidroeléctrica es aquella generada mediante la energía potencial⁴⁵ que adquiere el agua que se encuentra retenida por un embalse que impide que siga su ciclo natural y sea arrastrada por la fuerza de la gravedad hasta la mar o un lago. Como podemos ver en la figura 24, la acumulación de esta agua en altura significa la acumulación de una energía potencial que cuando se abre una compuerta, situada en la parte inferior del embalse⁴⁶, es liberada a través de un conducto en el cual se encuentra una turbina hidráulica⁴⁷ que es accionada por la fuerza del agua que a su vez acciona el alternador que transforma la energía mecánica transmitida por la turbina en energía eléctrica. Toda esta infraestructura se llama central hidroeléctrica.

⁴⁵ Según definición de D. Kleppner es la energía que adquiere un cuerpo dentro de un campo de fuerzas, en el caso de la energía hidráulica, la fuerza gravitatoria, según su localización en este.

⁴⁶ Con el fin de aprovechar toda el agua incluso cuando el embalse no está lleno.

⁴⁷ Turbomáquina que aprovecha la energía de un fluido para transmitirlo en forma de energía de rotación.



Primeramente, empezaremos estudiando la clasificación según la presión que ejerce el agua sobre la turbina la cual está directamente relacionada con la altura a la que se encuentra el agua respecto la turbina. Encontramos los siguientes niveles:

⁴⁹ Entendiendo como central hidroeléctrica cualquier tipo de infraestructura que use un caudal para general energía.

- Centrales de alta presión: las cuales responden a alturas superiores a 200 metros de altura y que suelen estar ocupadas por turbinas del tipo Pelton⁵⁰.
- Centrales de media presión: las cuales corresponden a alturas entre los 20 y los 200 metros. En este caso se usan las turbinas Kaplan⁵¹.
- Centrales de baja presión: las cuales corresponden a alturas inferiores a menos de 20 metros y dotadas también de turbinas Kaplan.

Actualmente existe también un subgrupo que usa unas nuevas turbinas que permite usar embalses de hasta un mínimo de 4 metros de altura. Estas turbinas tienen un coste muy alto que aún impide que esta tecnología que extienda en los mercados.

A continuación, veremos el segundo caso que se refieren a las características del caudal.

- Centrales de agua continua: las cuales utilizan el caudal directamente de un río, el cual debe de ser bastante importante, sin la presencia de un embalse. Es muy adecuada para ríos que cuentan siempre con un caudal continuo, pero no hay espacio para la infraestructura del embalse. En este caso las turbinas deben tener un eje vertical ya que la pendiente en estos casos no es tan pronunciada como cuando existe un túnel artificial.
- Centrales de embalse: las centrales hidroeléctricas tradicionales forman parte de este subgrupo. La existencia de un embalse permite retener el agua, así como su energía y es bombeada cuando es necesario producirla.
- Centrales de bombeo: Aquellas que también realizan la fuerza al revés, cuando hay horas con un exceso de la oferta de energía, aprovechan para bombear agua a un embalse situado a cierta altura con el fin de, en horas de pico⁵², generar energía eléctrica.

⁵⁰ Turbina dotada de cucharas a su alrededor que son impulsadas por el agua. Como es habitual en estos casos, fueron nombrados con el nombre del inventor.

⁵¹ Turbina dotada de palas parecidas a las hélices de un barco. Estas son impulsadas por el agua. También recibió el nombre de su inventor.

⁵² Momentos de día en los cuales existe una alta demanda de electricidad.

Todas estas características son variables que permiten producir más o menos energía eléctrica. El caudal, la altura, el tipo de turbina y el rendimiento del propio alternador nos permite hacer referencia a la fórmula que se usa para calcular la potencia eléctrica en MW que se generará con un embalse.

$$P_e = 9.81 \cdot n_t \cdot n_g \cdot n_m \cdot Q \cdot h \quad (1)$$

En esta fórmula, n_t es el rendimiento de la turbina, n_g el rendimiento del generador y n_m el rendimiento del eje entre la turbina y el alternador. Q es el caudal que pasa por la turbina y h la diferencia de altura que hay entre el embalse y la situación de la turbina.

Esta fórmula se puede obtener a partir de ir relacionando ecuaciones, empezando por la fórmula del cálculo de la Energía Potencial (E_p). Ésta se representa como:

$$E_p = m \cdot g \cdot h \quad (2)$$

A continuación, calculamos la potencia que genera esta energía si sabemos que la definición de la potencia es la variación de la energía en el tiempo:

$$P = \frac{E_p}{t} = \frac{m \cdot g \cdot h}{t} \quad (3)$$

Seguidamente, aplicamos esta energía potencial a la caída del agua, es decir a la aparición de densidad (d) del agua y un caudal el cual (Q) se define como un volumen⁵³ (v) de agua durante un intervalo de tiempo (t):

$$P = Q \cdot g \cdot h \quad (4)$$

Finalmente, le damos a g su valor constante en la superficie de la Tierra ($g = 9,81$) y añadimos los rendimientos⁵⁴ (n_t , n_g y n_m) para encontrar la fórmula del principio:

$$P_e = 9.81 \cdot n_t \cdot n_g \cdot n_m \cdot Q \cdot h \quad (5)$$

⁵³ El cual puede ser calculado a partir del conocimiento de la densidad y la masa del cuerpo.

⁵⁴ Proporción entre el valor de energía (o potencia) que entra respecto a la que sale debido a la existencia de fricciones, sonido, etc, resultantes del movimiento de las piezas y su consecuente pérdida de energía.

La energía hidroeléctrica ha sido uno de los grandes recursos de producción de energía durante el siglo XX. La podemos definir como la tercera en discordia frente a la energía nuclear, mucho más eficiente, pero con evidentes riesgos para la población, y la energía de los combustibles fósiles, responsables en cierta medida del sobrecalentamiento de la Tierra y de los riesgos de un futuro cambio climático. Además de la pronta escasez de los dos productos primarios que usan las anteriores centrales, la energía hidráulica siempre ha permitido generar energía de forma limpia y sin comprometer la seguridad de las personas ni del medio ambiente. Sin embargo, hay un detalle importante y es el impacto visual y de infraestructura que supone construir una central hidroeléctrica. Los embalses son paredes de enormes medidas los cuales acostumbran a encontrarse en sitios donde no encajan con el entorno y a menudo han supuesto también la desaparición de zonas pobladas para la construcción de estos⁵⁵. Sin embargo, existe una variación de la producción de energía eléctrica a través de energía hidráulica que no se realiza en centrales hidroeléctricas ya que muchas veces no existen ríos en los cuales se pueda construir una infraestructura ni situación donde poder realizar un embalse, sino que se realiza en el mar, aprovechando la energía generada por la marea. Esta variación se conoce como energía mareomotriz.

Energía mareomotriz

La energía mareomotriz se define como aquella que, mediante el aprovechamiento de la energía que se genera en las mareas, se convierte en energía eléctrica a través del proceso ya conocido⁵⁶. Esta fuente de energía es considerada renovable ya que teóricamente, la energía que se genera en las mareas siempre existe, puesto que las mareas, en los lugares de la tierra donde son incidentes, siempre siguen un ciclo el cual no comporta ningún tipo de emisión negativa para el cambio climático ya que en la transformación de la energía no se produce ningún tipo de subproducto contaminante.

⁵⁵ Sau, 1962.

⁵⁶ Sistema turbina-alternador.



Explotada en gran escala hace relativamente poco tiempo, países como Inglaterra, Francia o Canadá⁵⁷ ha resultado ser una de las energías renovables más rentables.

El modo por el cual se genera electricidad se divide en dos tipos. El primero consiste en aprovechar el flujo de la marea, también conocido como la corriente que se genera entre la marea alta y la marea baja y viceversa. Durante estos periodos se generan unas corrientes la potencia de los cuales depende de la amplitud de la marea y del periodo de ésta, ya que un periodo corto con una alta amplitud generará un flujo más potente que un periodo largo y de baja amplitud. De esta manera, la idea reside en situar una turbina debajo del agua la cual es accionada por la energía cinética de estas corrientes y a su vez transmite una energía mecánica al alternador que genera electricidad.

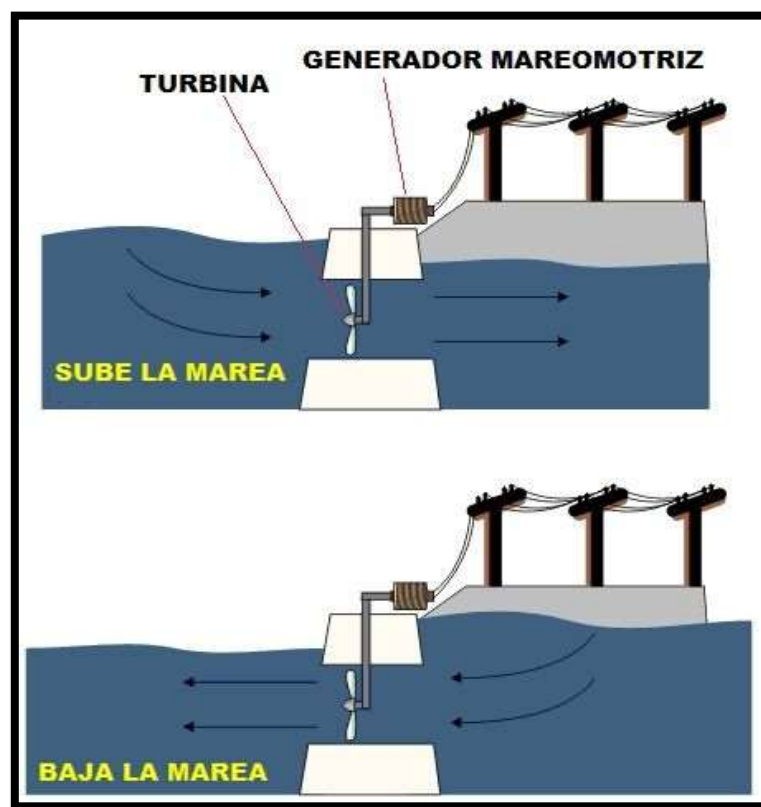


Figura 26. Energía mareomotriz I. Neergiza.

⁵⁷ En las costas de las cuales las mareas son de considerable magnitud.

En esta modalidad, encontramos distintas formas de construir estas instalaciones. Una de ellas es la construcción de un pequeño muelle alargado, como el de la figura 26, debajo del cual se encuentran las turbinas, como hemos podido ver en la figura superior. Otra forma, posiblemente la más extendida⁵⁸ últimamente se centra en una infraestructura mucho menos invasora y barata de construir. Se trata de situar una baliza, a veces fijada al fondo marino y otras veces no, en la cual se encuentran una o un par de turbinas que rotan gracias a la energía cinética del corriente de la marea como en el caso de la figura 26 que podemos observar a continuación.

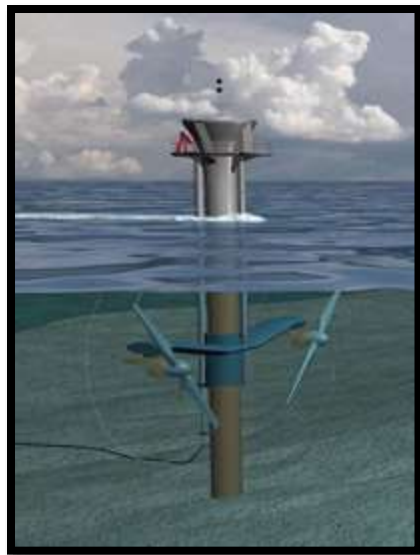


Figura 27. Energía mareomotriz II. UCC (Universidad Católica de Chile).

Finalmente, el otro sistema de explotación de esta energía es mediante una presa en el medio de la mar la cual separe dos zonas y que una esté bajo el efecto de la marea y el otro no. La idea es simular el funcionamiento de un pantano, pero en el mar. Cuando la marea está alta el agua circula entre las dos zonas ya que se encuentran a nivel y las compuertas de la presa abiertas. Sin embargo, cuando ésta baja, una parte del agua de la presa se retira mientras que la otra se mantiene en su sitio generando así una energía

⁵⁸ BBC News, 2011, *Isle of Wight tidal energy scheme 'put on hold'*, Reino Unido.

potencia positiva de la que se ha mantenido en su lugar. En este momento, se abren las compuertas la cuales dejan pasar el agua por un túnel donde se encuentra una turbina de los tipos mencionados en el capítulo anterior. Este método fue el originalmente usado cuando se empezó a desarrollar esta nueva tecnología⁵⁹ pero como hemos visto se han ido llevando a cabo ciertas variaciones que han permitido aumentar su credibilidad y adaptarla a entornos donde quizás no es posible construir tal infraestructura. Además, hay que tener en cuenta que la construcción de dichas presas generan un impacto visual y medioambiental bastante importante ya que al estar en mar abierta afectan a la circulación de las corrientes de la zona generando de este modo acumulaciones de terreno o cambios en la orografía de la zona como en el caso de la construcción de un puente en Mount Saint Michel que modificó completamente la situación de los bancos de arena generando así la pérdida de gran parte de la producción de ostras y otros moluscos.

Para conocer la potencia generada mediante esta energía, se puede realizar teniendo en cuenta las dos formas de aprovechar esta. La primera de ellas usa la energía cinética del agua producida por el flujo de la marea y las corrientes. De este modo, la potencia calculada vendrá a ser la que las aspas de la turbina alcancen respondiendo a la siguiente fórmula⁶⁰:

$$P = \frac{1}{2} \cdot d \cdot v^3 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot n \quad (1)$$

Donde d es la densidad del agua (1025 kg/m^3), v es el volumen que pasa por las aspas, $\pi \cdot r^2$ el área de las aspas y n el rendimiento de las turbinas.

Utilizando el método de un embalse, es decir, usando la energía potencial fruto de la diferencia de amplitud de las mareas, se usaría la siguiente fórmula⁶¹:

⁵⁹ La planta mareomotriz del Rance en Rennes funciona des de 1966 con este sistema cubriendo la demanda de electricidad de 225 000 personas.

⁶⁰ Dedución de la fórmula explicada en el capítulo de la energía eólica ya que es usada principalmente por aquella tecnología.

⁶¹ Dedución de la fórmula explicada en el capítulo de la energía hidroeléctrica ya que es usada principalmente por aquella tecnología.

$$P_e = 9.81 \cdot Q \cdot h \cdot n \quad (1)$$

Donde Q es el caudal que pasa por la turbina, h la diferencia de altura entre la turbina y la altura de la marea y n el rendimiento de las turbinas.

La energía mareomotriz resulta ser una energía renovable muy atractiva ya que, aunque se sigue investigando para reducir los costes⁶², permite generar electricidad con corrientes poco intensas de hasta 1 m/s debido a la alta densidad del agua. De este modo, con un exhaustivo estudio de la zona a implementar esta tecnología, el cual puede ser llevado a cabo mediante boyas que permitan determinar la intensidad y dirección de las corrientes, se podría determinar su rentabilidad. Estos datos, combinados con el hecho que las mareas pueden ser predichas fácilmente en cualquier zona de la Tierra, permiten que la energía mareomotriz sea un gran recurso en las zonas en las que existan mareas con amplitud y flujo considerables.

Energía undimotriz

Aunque hemos centrado este capítulo en la energía mareomotriz, últimamente se están desarrollando proyectos en favor de la producción de electricidad a partir de la energía de las olas. Las olas contienen una gran cantidad de energía transmitida a partir de los fuertes vientos produciendo así la ondulación del mar en forma de olas. La energía contenida en las olas se puede aprovechar de distintas formas como, por ejemplo, mediante su amplitud, su periodo o la variación de presión generada por la ola. Proyectos como el convertidor de olas Pelamis o el Langlee, la forma de los cuales podemos ver en la figura 27, están permitiendo avanzar en este sentido e incluso se han realizado ya instalaciones con grandes resultados⁶³.

⁶² Los cuales provienen principalmente del alto coste de su instalación, su mantenimiento fruto del alto nivel de corrosión y la dificultad para acceder a estas.

⁶³ Proyecto Wave Dragon, desarrollado por países de la Unión Europea como Dinamarca, Portugal, Austria, Alemania e Irlanda, el cual a través del sistema Pelamis genera entre 4,7MW y 35GW según el modelo.



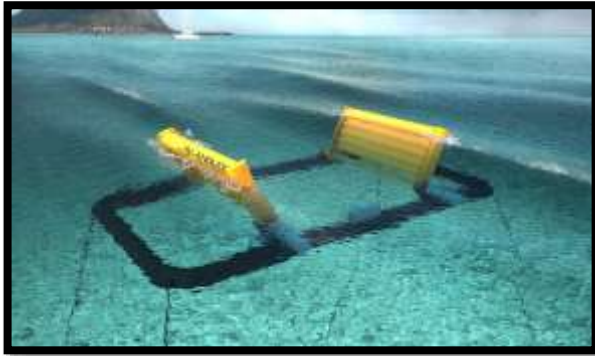


Figura 28. Proyecto Langlee y Pelamis. Energía con Bienes Comunes.

El proyecto Langlee usa dispositivos amarrados al lecho marino y permitiendo que una parte de este dispositivo, unas palas, sea movido por las olas. Este movimiento es transmitido a un generador que genera energía. Una de las complejidades de este proyecto reside en el hecho de conseguir mantener anclado el dispositivo y a su vez permitir que parte de ese se mueva siguiendo el período de las olas el cual al ser irregular hace que ésta sufra bastantes esfuerzos. Su rendimiento parece asegurado siempre y cuando en la zona de su instalación existan olas con un periodo continuado, pero, sin embargo, hay que tener en cuenta que es posible que necesite un buen mantenimiento debido a los esfuerzos sufridos.

Finalmente, el proyecto Pelamis usa unos dispositivos flotantes articulados de forma cilíndrica que generan la energía a partir de la amplitud de las olas que es transmitido a las zonas de quiebre del cilindro donde se encuentran unos sistemas hidráulicos que hacen girar a los generadores eléctricos. A diferencia del otro proyecto, la gran ventaja de estos es que no están anclados al lecho marino lo cual lo hace mucho más adaptativo al tipo de costa, a la distancia de éste respecto tierra, etc. Este sistema tiene un alto rendimiento cuando se combinan unas olas de amplitud moderada y un periodo constante.

La energía eléctrica generada de las olas, aunque se ha demostrado que puede dar resultado, aún está en fase de desarrollo. En este capítulo hemos mencionado los dos métodos más frecuentes, pero existen muchos otros sistemas que llegado el día quizás darán con una nueva forma de conseguir energía eléctrica limpia y sobre todo barata, ya que como es de imaginar, la fabricación y el mantenimiento de estos dispositivos hoy en día sigue suponiendo un alto coste para la mayoría de empresas generadoras de energía lo que produce a su vez que la inversión hacia este tipo de energía sea bastante baja.

En este punto cerramos el bloque dedicado a las energías renovables del entorno hidráulico. A continuación, seguiremos conociendo las características de otras energías renovables como la eólica, la solar y la geotérmica.

Energía Eólica

La energía eólica no es sino otra que, tal y como indica su nombre, proviene del viento y nos sirve para transformarla en otro tipo de energía. Antaño, se transformaba en energía mecánica para ayudar a los hombres en labores como moler trigo o a empujar sus naves para descubrir nuevos emplazamientos comerciales y nuevas tierras donde vivir. Hoy en día la energía eólica ha venido siendo una de las grandes alternativas a las energías convencionales para la producción de energía eléctrica. Debido a que se encuentra clasificada como energía renovable ya que no supone ningún tipo de riesgo a nivel emisiones contaminantes fruto de la transformación energética, ni tampoco un problema para la seguridad humana.

Hoy en día, mediante el uso de molinos de viento, o también llamados aerogeneradores, el viento⁶⁴ que arrastra una energía cinética consigo mismo, hace mover unas aspas que

⁶⁴ El viento no es más que una alteración producida por las radiaciones solares que calientan una masa de aire que es elevada y que a su vez desplaza una masa de aire frío y, de este modo, se genera una circulación de viento. Se estima que aproximadamente un 2% de la energía que proviene del Sol se transforma en viento.

transforman esta energía cinética en energía mecánica que, a su vez, mediante el proceso ya conocido, es transmitido a través de un eje hasta un alternador que genera la electricidad.

Los molinos de viento, cuando hablamos de grandes producciones de electricidad, se acostumbran a encontrar agrupados en forma de parques eólicos, los cuales son sitios que por sus características hay una riqueza en la cantidad de viento que se registra de modo que se pueden generar grandes cantidades de electricidad, o aerogeneradores son unas estructuras verticales formadas por distintos elementos los cuales agrupados nos permiten la obtención de electricidad. Los primeros aerogeneradores aparecieron en los años cincuenta y su principal función era el abastecimiento de zonas aisladas que requerían de cierta energía eléctrica y no disponían de conexión a la red general. En sitios como los Estados Unidos de América, donde existían un gran número de comunidades aisladas, permitieron prosperar a los aerogeneradores. A partir de aquí, sobre todo en los años ochenta, con el aumento de la preocupación por el cambio climático, los parques de aerogeneradores empezaron a aflorar con el fin de abastecer a un gran número de personas.

En referencia al cálculo la potencia que puede suministrar el viento a través de un aerogenerador responde a la siguiente formula:

$$P = \frac{1}{2} \cdot d \cdot v^3 \cdot \pi \cdot r^2 \quad (1)$$

Para poder explicar la fórmula de la generación de potencia de un aerogenerador hay que recordar que estamos en todo momento hablando de energía de modo que, si nos referimos a la energía del viento para mover las aspas, nos estamos refiriendo a la energía cinética (E_c) del viento la cual responde a la siguiente ecuación:

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (2)$$

La energía que tiene el viento en movimiento le corresponde la mitad de su masa (m) multiplicada por el cuadrado de la velocidad (v). La velocidad es fácil de conocer mediante un anemómetro, pero, sin embargo, la masa de aire que pasa a través de las

asas la deberemos calcular sabiendo que la masa es el producto de la densidad (d) del cuerpo y su volumen (v). La densidad del aire es conocida hoy en día y sabemos que, a nivel del mar, a presión normal y 15°C de temperatura es de 1,225 kg/m³. Para saber el volumen, en cambio, debemos introducir una variable que será el tiempo (t) de este modo, podemos imaginar que durante un tiempo y a una velocidad constante el volumen que pasará por las aspas será el siguiente:

$$V = v \cdot t \cdot \pi \cdot r^2 \quad (3)$$

El volumen reflejado corresponde a un cilindro formado por la base que es el área que abaten las aspas que forman una circunferencia ($\pi \cdot r^2$) y su longitud que es la velocidad (v) del viento por una cantidad de tiempo indeterminada (t). A continuación, adjuntamos un dibujo, figura 28, para entender mejor el proceso.

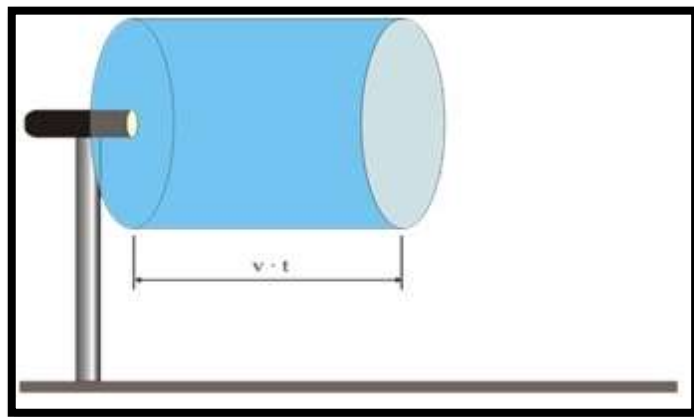


Figura 29. Volumen de aire abatido por las aspas. UISEK (Universidad Internacional SEK)

Una vez tenemos el volumen del cilindro, la fórmula de la energía cinética (E_c) es la siguiente:

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot 1,225 \cdot v^3 \cdot t \cdot \pi \cdot r^2 \quad (4)$$

Si tenemos en cuenta que estamos buscando la potencia y ésta es la energía en un intervalo de tiempo, nos queda la siguiente fórmula:

$$P = \frac{1}{2} \cdot 1,225 \cdot v^3 \cdot \pi \cdot r^2 \quad (5)$$

Finalmente, obtenemos la fórmula de la potencia del viento que pasa a través de las aspas de un aerogenerador. Como podemos ver, la potencia que se generará dependerá de dos variables. La primera que será la velocidad del viento (v) y la segunda que será la longitud de cada una de las aspas (r) ya que el radio de la circunferencia del abatimiento de las aspas corresponde a la longitud de una de ellas. A continuación, vamos a conocer en profundidad cuales son las partes de un aerogenerador.

La figura 29 representa un aerogenerador abierto con el propósito de poder observar su interior, hay que empezar a hablar primeramente por la infraestructura (1) sobre la cual descansan dichos elementos y que tiene forma normalmente cilíndrica. A continuación, tenemos las aspas (2) las cuales son empujadas por el viento transformando de este modo la energía cinética en mecánica. Seguidamente, existe una transmisión (3) que permite que las vueltas a las que giran las aspas puedan ser multiplicadas y el eje gire a una velocidad superior. También, existe un freno (4) del eje que permite frenar las aspas ya que hay ciertos casos, como por ejemplo cuando hay un exceso en la intensidad del viento detectada en el anemómetro (5) que se encuentra junto a las aspas, en que el aerogenerador debe parar para que el eje y la estructura no sufran sobre esfuerzos. Finalmente, encontramos el alternador (6) que es el encargado de transformar la energía mecánica en eléctrica mediante el proceso ya comentado durante este proyecto. La energía eléctrica una vez sale del aerogenerador ya se une a la red eléctrica (7).



Figura 30. Partes de un Aerogenerador. Slides Share.

El tamaño de los aerogeneradores puede variar. A continuación, se describen los más comunes⁶⁵. Primeramente, vamos a hacer referencia a la altura de los aerogeneradores ya que aproximadamente el eje de rotación de las aspas se puede encontrar entre los 50 y 80 metros de altura. La variación de esta altura dependerá mayormente de la potencia que se quiera conseguir ya que una altura más alta permitirá tener unas aspas más largas y a su vez generar más electricidad. Por otra parte, también se estima que una altura considerable del eje permitirá que las aspas reciban un viento más constante y sin irregularidades fruto de las características del suelo sobre el cual están contruidos. Las otras piezas importantes de medir en los aerogeneradores son las aspas las cuales, dependiendo del área de barrida, la cual depende de la longitud de las aspas, la potencia

⁶⁵ Danish Wind Industry, 2016, Dinamarca.

subministrada será mayor o menor. En este caso hablamos de que las aspas pueden tener medida de entre 30 y 40 metros de longitud. Sin embargo, a nivel de limitación de altura del aerogenerador y longitud de las aspas, también hay que tener en cuenta el impacto visual que pueden generar estos aerogeneradores cuando son de grandes tamaños y más aún cuando estamos hablando de un parque eólico formado por varios aerogeneradores. Finalmente, cabe mencionar que también existen turbinas de distintos tamaños las cuales nos aportan diversas ventajas y desventajas. Por ejemplo las turbinas grandes son mucho más rentables a nivel económico a la larga, a veces, en ocasiones, en lugar de utilizar varias para formar un parque eólico, una turbina grande bien situada puede generar una energía mecánica mayor que varias y más pequeñas. A la vez éstas también se adaptan mejor a parques eólicos que se encuentran a alta mar, los cuales comentaremos a continuación ya que el viento es más constante que en tierra y su rendimiento aumenta. En cambio, las turbinas pequeñas, se adaptan mejor a la red eléctrica ya que es demasiado débil para manipular la energía de una gran máquina como en el caso de redes aisladas. También hay que tener en cuenta que las infraestructuras necesarias para transportar turbinas y materiales grandes serán mucho más costosas que las turbinas pequeñas y además en caso de fallo, si se cuenta con solo una pero grande, falla el suministro mientras que, si se cuenta con varias pequeñas, la incidencia puede ser resuelta mientras las otras abastecen la población. Ambos casos tienen ventajas e inconvenientes y la clave reside en saber escoger el tamaño adecuado en función de la situación en la que se ubiquen (características del terreno, viento e impacto ambiental).

Como hemos mencionada en el párrafo anterior, parte de las características que tendrán los aerogeneradores vendrá determinada por el entorno al cual van a ser instalados. A continuación, vamos a ver cuáles son las características óptimas para instalar aerogeneradores.

Según IDAE⁶⁶, hay tres pasos que se deben seguir para saber dónde y cómo hay que instalar los aerogeneradores.

Primeramente, hay que tener en cuenta que el recurso que vamos a utilizar para generar energía eléctrica sea suficiente. En este caso, habrá que tener en cuenta dos componentes principales de las cuales variarán las características de la instalación. Estas son la dirección del viento y la velocidad de éste. La dirección del viento el cual vamos a determinar mediante una veleta⁶⁷ servirá para decidir la orientación que tendrán los aerogeneradores y la velocidad nos servirá para saber si podemos instalar o no los aerogeneradores ya que se requiere un mínimo de velocidad del viento y un estudio de la variación anual para que sean rentables. Generalmente, hay que saber que la velocidad del viento aumenta con la altitud ya que disminuye la fricción causada por obstáculos y la propia superficie terrestre las características de la cual también serán importantes, ya que una superficie rugosa puede generar turbulencia y dificultará una componente del viento constante. También hay que tener en cuenta que la velocidad del viento es menor durante la noche y aumenta a partir de la salida del sol, debido al calentamiento de la atmosfera, concretamente de la troposfera⁶⁸, encontrándose el máximo entre las 12 y las 16 horas.

Como hemos comentado anteriormente, la clave de saber si una instalación será rentable o no pasará por conocer la velocidad media del viento y la mínima velocidad del viento registrada. En estos casos, la velocidad media anual se considera que no debe ser inferior a los 5 m/s y los mínimos registrados que no sean inferiores a los 3-4 m/s. Sin embargo, por otro lado, también hay que tener en cuenta la intensidad de viento, es decir, si el viento es demasiado intenso. En estos casos hay que tener en cuenta que normalmente los aerogeneradores, a partir de los 25 m/s de viento recibidos de forma constante, deben pararse por razones de seguridad debido a los altos esfuerzos

⁶⁶ IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), 2017.

⁶⁷ Dispositivo giratorio el cual consta de una placa horizontal que es movida por el viento hasta ponerse en el sentido de la dirección de este.

⁶⁸ La primera capa de la atmosfera terrestre. Se encuentra aproximadamente entre los 0 y 10 Km de altura.

mecánicos que experimentan. La producción máxima de estos debe ser entre ambos valores, siendo comúnmente aceptado⁶⁹ el valor de los 14 m/s la intensidad del viento que permite una producción de electricidad más alta. Hay países como por ejemplo España, mediante el FEDER⁷⁰, que han desarrollado bases de datos y aplicaciones que nos permiten conocer, mediante la introducción de coordenadas, el rendimiento que obtendríamos si instalamos aerogeneradores.

A continuación, el segundo paso, mucho menos denso que el anterior, pasa por determinar la cantidad de espacio abierto que tenemos y decidir si un solo aerogenerador es suficiente o si con la construcción de un parque eólico sacamos más rendimiento. Se intenta buscar un entorno llano, el cual cree pocas turbulencias, y con suficiente espacio para albergar el aerogenerador teniendo en cuenta el radio de giro de las aspas. Se considera que las turbulencias causadas por obstáculos⁷¹ pueden afectar aproximadamente el doble de su altura en sentido vertical y 10 – 20 veces en sentido horizontal dependiendo de la forma de éste. A nivel de diseño se deben considerar un espacio libre en altura de unos 10 metros y entre 7 y 10 veces del diámetro de las aspas a nivel horizontal.

Debido al hecho de intentar evitar al máximo las turbulencias, las rachas de viento y los cambios de dirección repentinos, una de las soluciones para los parques eólicos fue que fueran construidos en el mar. En el mar el viento es mucho más constante que en tierra y no experimenta las turbulencias debido a edificios ni a la rugosidad del terreno de modo que ofrecen una gran ventaja respecto los parques eólicos convencionales. Además, permiten solucionar el problema de la contaminación acústica, debido al ruido

⁶⁹ Eliocat, 2009, Associació Eòlica de Catalunya, España.

⁷⁰ Fondo Europeo de Desarrollo Regional.

⁷¹ Hay que tener en cuenta que las turbulencias dependen mucho de la naturaleza del objeto que las provoca. Esto dependerá en gran medida de las medidas del objeto: altura, anchura y longitud, y también en la densidad de éste. No es la misma turbulencia la generada por un edificio que por un árbol y además ésta también será diferente si es en primavera, cuando estos florecen o en invierno que no hay ninguna hoja.



de los aerogeneradores convencionales y reducen el impacto visual muy criticado de los parques eólicos tradicionales.



Figura 31. Parque eólico offshore. The Guardian.

Estos parques conocidos como parques eólicos offshore, como podemos ver en la figura 30, están siendo desarrollados principalmente por países del Mar del Norte como el Reino Unido, ya que se precisa que, por facilitar su construcción y el futuro mantenimiento, el mar no sea muy profundo. Aunque los costes de construcción y mantenimiento son más elevados que en los parques eólicos convencionales, el rendimiento de estos parques, que es más elevado que en los parques convencionales, su vida útil es más longeaba y ofrece un mayor margen de beneficio.

Finalmente, el último paso consiste en ser conecdor de los requisitos legales que conlleva realizar este tipo de instalaciones a nivel de requisitos estructurales, del entorno, de potencia y finalmente, los impuestos que se aplican a la instalación de dichas infraestructuras.

Para terminar con el capítulo de la energía eólica, se explicará el de la microgeneración eólica, es decir la generación de electricidad a partir de la energía eólica pero destinada

al consumo de una comunidad pequeña o incluso a nivel familiar. Este tipo de energía puede ser de gran utilidad para el proyecto.

La microgeneración per definición legal⁷² son aquellos sistemas de generación eléctrica de una potencia máxima de 50 kW⁷³. Tradicionalmente su uso fue dirigido a pequeñas comunidades aisladas y sin suficiente capacidad para conectarse a la red pública o directamente, sin conexión a ella y que utilizaban pequeños generadores de combustible para generar la electricidad que era necesaria⁷⁴. En los últimos años, fruto de la política de algunos gobiernos municipales, la microgeneración de electricidad se ha ido lentamente implementando en las ciudades, la imagen de los cuales podemos ver representada en la figura 31, como substitución a la conexión al sistema eléctrico municipal para elementos como puede ser la iluminación de las calles u otras aplicaciones.



Figura 32. Aerogenerador de eje vertical. Solostocks.

A nivel de producción, los aerogeneradores de micro producción tienen las mismas características que las que hemos mencionado anteriormente. Necesitan una velocidad

⁷² Real Decreto 842/2008, de 2 de agosto, sobre Implantación de la Microenergía.

⁷³ La potencia máxima varía según el propósito de la instalación. En este caso 50 kW se consideran para el consumo privado como por ejemplo una vivienda unifamiliar.

⁷⁴ Como en el caso ya conocido de la Isla de Saboga y Contadora.

media de 4-5 m/s para funcionar y su rendimiento máximo se encuentra alrededor de 14 m/s. Sin embargo, sí que existe una pequeña diferencia comparado con los aerogeneradores convencionales (debido a la gran dificultad que comportaría) y es que se pueden usar generadores con el eje en sentido vertical, como el observado en la fotografía anterior o de eje horizontal como los aerogeneradores convencionales.

La ventaja principal de los aerogeneradores con el eje horizontal es que han sido los más desarrollados a lo largo de los tiempos y por tanto son los más eficientes y más asequibles económicamente. Sin embargo, no toleran muy bien los vientos racheados y que a menudo comportan cambios de dirección del viento cosa que provoca que estos deban tener una veleta para orientarse cara el viento. Por su parte, los aerogeneradores de eje vertical tienen la gran ventaja que pueden aprovechar el viento que venga en cualquier dirección generando mínimas vibraciones, pero, por el contrario, al ser una tecnología más reciente, aún tiene menos rendimiento que los aerogeneradores de eje horizontal y son más caros.

Cuando hablamos de microgeneración de energía, hay que tener en cuenta que es energía para el consumo propio y que hay muchas veces que la producción se realiza cuando no es indispensable su consumo total. De este modo hay algunos elementos que se añaden a la instalación. Estos son los acumuladores de energía o también llamados baterías. Las baterías nos permiten almacenar la electricidad generada cuando hay viento para ser consumida cuando la necesitamos. También hay que tener en cuenta el tipo de alternador ya que dependiendo de si es de corriente continua (CC) o corriente alterna (AC) se deberá usar un convertidor CC/AC para usar la electricidad ya que la mayoría de aparatos que usamos funcionan mediante la corriente alterna⁷⁵. Aunque la función mayoritaria de la microgeneración de energía es el autoconsumo a partir del ahorro de la energía de la red pública, hay veces, cuando se cuenta con conexión a la

⁷⁵ Hay aparatos como por ejemplo los móviles que funcionan mediante corriente continua almacenada en una batería. En este caso, cuando son enchufados para cargar, el propio cargador ya contiene un convertidor de corriente alterna a continua para no causar daños al aparato.

red pública se puede optar por ofrecer el superávit de la energía producida a la red pública y venderla a las compañías eléctricas.

En este punto hemos llegado al final del capítulo sobre la energía eólica. Esta profundización nos ha permitido conocer cuáles son las principales características de la generación de energía eléctrica a partir de la energía del viento y cuáles son las variables para que puede ser rentable. A continuación, nos queda conocer la producción de energía eléctrica a partir de la energía solar, la energía geotérmica y la energía de la biomasa y finalmente valoraremos cuales son las energías que nos pueden ser más favorables por el desarrollo del proyecto.

Energía solar

En este capítulo vamos a realizar una pequeña introducción a la energía solar con el propósito de tener una idea sobre cuáles son las variables que pueden permitir que la energía solar sea la más indicada para desarrollar en nuestro proyecto. La energía solar es aquella que, mediante la radiación solar que llega a la tierra, se puede convertir en energía eléctrica. El espectro de esta radiación es muy ancho siendo principalmente la parte del espectro visible la que es recibida. Sin embargo, hay una proporción que es recibida en forma de rayos UV y estos son los más provechosos para generar electricidad. La incidencia de esta radiación depende de muchos factores como son la latitud, el momento del día y las condiciones atmosféricas, pero sin embargo la energía solar ha acabado siendo una de las energías renovables, ya que no produce ningún tipo de producto que sea contaminante y usa una fuente de energía teóricamente inacabable, más usada y desarrollada.

El origen de esta energía reside en los años ochenta, como la mayoría de energías renovables, debido a la crisis del petróleo de finales de los años setenta y una concienciación global sobre el cambio climático y el calentamiento terrestre. En aquella



época, las instalaciones fotovoltaicas fueron creciendo principalmente como producción global, es decir, sin ser implementadas en casas particulares. No fue hasta la década de los noventa, que la mejora de la competitividad de las células fotovoltaicas puso a la energía solar fotovoltaica en la competición de las energías renovables. A partir del siglo XXI una nueva tecnología procedente del sol se empezó a desarrollar. Ésta fue la energía solar térmica la cual usaba el calor del sol para calentar el agua y darle uso sanitario y calefacción.

En este capítulo vamos a ver los distintos tipos de la aplicación de la energía solar dando especial énfasis a aquella que nos permite obtener la correspondiente transformación a energía eléctrica.

Primeramente, cabe destacar la clasificación en la cual se trabaja según la mayoría de fuentes de organismos oficiales como el IDAE. En ésta se refleja una división entre la aplicación de la energía solar de manera pasiva y su aplicación de manera activa. La primera corresponde en el aprovechamiento de la energía del sol sin transformarla en otro tipo, siendo una aplicación directa como puede ser en el diseño de las casas, su orientación, el material que se usa, etc. La segunda, la energía solar activa, sí que hace a la transformación mediante diversos medios de la energía solar, es decir, su radiación UV en energía eléctrica o calor.

Energía solar térmica

La generación de calor a través de la energía solar es una tecnología que, aunque existe desde hace muchos años, se está desarrollando desde principios del siglo XXI para su aplicación en viviendas ya que a través de la conversión de la radiación solar en calor podemos realizar un increíble ahorro en el calentamiento del agua el cual es aprovechado para el consumo doméstico. Otra de las aplicaciones de la energía solar térmica es la conversión de esta energía en energía eléctrica mediante el proceso convencional de convertir un líquido en calor a presión mediante su calentamiento el

cual posteriormente accionaría una turbina que a su vez movería un alternador con el fin de producir electricidad. Para poder conseguir la alta presión requerida se debe calentar el agua a muy alta temperatura y es aquí donde nos encontramos con distintos modelos de colector⁷⁶ para lograrlo. Estos se dividen según la temperatura a la que son capaces mantener el líquido de modo que encontraremos los colectores de baja temperatura, los colectores de alta temperatura y los colectores de muy alta temperatura. A continuación, vamos a conocer un poco las características de cada uno de ellos.

- Colectores de baja temperatura: son aquellos que permiten calentar la temperatura hasta aproximadamente los 65°C y darle uso mayoritariamente sanitario a esta agua o para algunos procesos industriales por los que no se precise una alta temperatura como por ejemplo la pasteurización⁷⁷.
- Colectores de alta temperatura: la cual corresponde a dispositivos capaces de alcanzar temperaturas entre los 100°C y los 300°C mediante la concentración de los rayos, a través de espejos, hacia un receptor donde se calienta el líquido.
- Colectores de muy alta temperatura: corresponden a aquellos que pueden superar los 500°C y normalmente tienen la misma estructura que los otros, pero añadiendo el sistema de torre central el cual consiste en concentrar todos los rayos en un depósito donde el agua es convertida en vapor que puede ser usado entre otros para generar electricidad mediante el método tradicional.

Cabe destacar que los dos métodos más usados⁷⁸ de la clasificación anterior son los colectores de baja temperatura que permiten calentar el agua mediante el proceso que veremos a continuación y los colectores de muy alta temperatura que permiten la generación de electricidad.

⁷⁶ El dispositivo usado con el fin de calentar el agua. Existen distintos tipos de colectores, aunque la mecánica es la misma. El agua circula por dentro de éste el cual está expuesto a la radiación solar y lo calienta.

⁷⁷ Procedimiento el cual consiste en elevar la temperatura de un alimento hasta aproximadamente los 60° o más y enfriarla rápidamente con el fin de eliminar microorganismos.

⁷⁸ Eurostats. Statistics Explained, 2017, Estadísticas de energía Renovable, Bélgica.



Primeramente, vamos a conocer el funcionamiento de los sistemas térmicos de baja temperatura, los cuales como hemos visto tienen mayormente aplicaciones como agua sanitaria. Estos sistemas, como podemos ver en la figura 32, están formados por un circuito primario el cual está compuesto por el colector y el intercambiador el cual su función principal es realizar el calentamiento de este circuito a través del colector y mediante el intercambiador enfriarlo y traspasar el calor a otro circuito el cual, es el secundario y está conectado a la red. Este circuito secundario tiene como elemento principal el acumulador el cual basa su funcionamiento en la diferencia de densidades entre el agua caliente y el agua fría. De esta manera, el acumulador cuenta con una entrada en la zona inferior por la cual se introduce agua fría y una segunda entrada en la parte superior por la cual sale, para su consumo el agua caliente. Para el calentamiento del agua, lo que se realiza es que mediante un circuito que se encuentra interno al acumulador, el agua de este se va calentando ya que el agua de este circuito secundario pasa por el intercambiador donde es calentada y a su vez, cuando pasa por el acumulador, calienta la parte superior y se enfría en la parte inferior. De este modo se consigue calentar agua con el uso exclusivo de la energía solar. A continuación, vamos a conocer el segundo método típico de aprovechamiento de la energía solar térmica el cual se refiere al aprovechamiento de ésta a muy alta temperatura para generar electricidad.

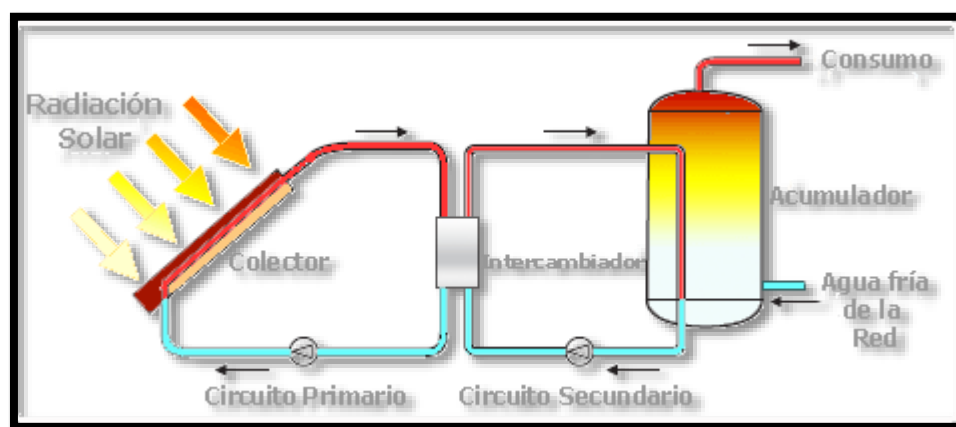


Figura 33. Energía solar térmica de baja temperatura. Suelo Solar.

La energía solar térmica de muy alta temperatura es aquella que permite mediante la concentración de la radiación solar en un punto, calentar el fluido a muy alta temperatura y de esta forma generar vapor el cual puede ser impulsado a través de una turbina para que ésta la transforme en energía mecánica y a su vez mediante un alternador, en electricidad. Aunque existen distintos tipos de generación de estos tipos como son el concentrador solar parabólico o el concentrador cilíndrico los cuales están más desarrollados, la generación de electricidad mediante el proceso de torre central, el cual vamos a comentar ahora, ha resultado ser el más eficiente.

El sistema de generación de electricidad mediante una central solar de torre central, como la de la imagen de la figura 33, consiste en concentrar la radiación del Sol en un punto en concreto, mediante paneles heliostatos que reflejan la radiación hacia donde conviene, el cual se encuentra en una torre, para calentar el líquido que se encuentra en su interior⁷⁹ y convertirlo en vapor el cual se usaría para hacer mover una turbina y poder generar electricidad con un alternador. El problema de estos casos es que dependiendo de la temperatura que alcance el líquido, una turbina de vapor resultará menos eficiente que una turbina de gas y es este el motivo por el cual se debe controlar la temperatura a la cual se encuentra el líquido.

⁷⁹ En las primeras centrales solares de torre central, este líquido era agua y hoy en día, ha sido substituido por solido líquido o sales de nitrato de potasio y nitrato de sodio fundido.



Figura 34. Parque solar de torre central. Energía Solar.

Como podemos observar en la imagen, este tipo de centrales de deben situar en sitios donde la incidencia de la radiación solar sea muy alta y constante con el fin de poder calentar el líquido, aunque con las nuevas centrales que usan la mezcla de sales, estas al tener un gran poder de concentración de calor, permiten que se mantengan en estado gaseoso incluso cuando el sol no es incidente. Cabe puntualizar también que, para el buen rendimiento de la central, la superficie mínima que se precisa para poder generar el suficiente calor es de entre 150 y 320 hectáreas.

De este modo, queda reflejado que la energía solar térmica también puede ser usada para generar electricidad, aunque la infraestructura a desarrollar es bastante importante, elevando así sus costes. A continuación, vamos a ver la generación de energía eléctrica, también a través del Sol, pero usando otro proceso el cual usa células fotovoltaicas.

Energía fotovoltaica

Como se ha estado viendo en este último capítulo, la energía del sol puede ser utilizada de distintas formas; mediante su calor, mediante su aplicación pasiva y finalmente, vamos a ver la más moderna, que consiste en la utilización de placas fotovoltaicas que, mediante un proceso que veremos a continuación y el cual no tiene nada que ver con el resto de tipos de producción de electricidad, es decir, un método por el cual se usan distintos tipos de energía para generar energía mecánica y a su vez energía eléctrica. La energía fotovoltaica no sigue este patrón y ahora vamos a conocer a través de qué método se genera la electricidad.

La energía fotovoltaica, como se ha comentado en el párrafo anterior es una forma de obtener electricidad bastante nueva en comparación con el resto de energías analizadas en este proyecto. Esto es fruto del hecho que el proceso que usa, aunque era conocido, no se había estimado aún su alta capacidad de producir electricidad en grandes cantidades. De este modo es aproximadamente a partir del año 2000 que esta tecnología se empieza a implementar y su fabricación empieza a crecer exponencialmente. En un principio, es usada en forma de producción en masa en parques de generación fotovoltaica de grandes dimensiones⁸⁰ pero a medida que avanza el nuevo siglo, se le van dando aplicaciones a nivel urbano e incluso privado siendo instaladas en casas privadas o en comunidades de vecinos. El gran beneficio de la energía fotovoltaica es que ésta, tal y como cabe esperar al ser cualificada de energía renovable, no emite ningún tipo de polución durante el funcionamiento de modo que se considera que es totalmente limpia con el medio ambiente.

El funcionamiento de esta energía se basa principalmente en el efecto fotoeléctrico⁸¹ el cual ocurre en las células fotovoltaicas. Estas células fotovoltaicas, están formadas por un material semiconductor el cual, normalmente es el silicio cristalino, que a su vez en una mitad de la placa está dopado positivamente (tipo p) y en la otra mitad está dopado

⁸⁰ Como el construido en 2004 en Barcelona en motivo del Fórum de Las Culturas.

⁸¹ Castañer Muñoz Luis. *Energía Solar Fotovoltaica*. Edicions UPC. Barcelona. 1992.

negativamente⁸² (tipo n). De este modo, cuando la luz del Sol, la cual contiene fotones⁸³ es absorbida por las placas fotovoltaicas, los fotones que entran en la placa, golpean a los electrones⁸⁴ del interior arrancándolos del átomo y gracias a la existencia de las dos zonas alteradas electrónicamente que impiden que este electrón se recolocque en otro átomo de la misma zona y quiera circular hacia la zona donde hay menos carga negativa, se genera un flujo de estos creando de esta manera una diferencia de potencial y por lo tanto electricidad. Para mejorar el rendimiento de la placa fotovoltaica, la mayoría de estas ya se fabrican con una capa que proteja la célula pero que deje pasar la luz, una placa anti reflectante para que todos los fotones sean absorbidos correctamente con tonos de color oscuros los cuales aumentan más el rendimiento de éstas porque captan mejor la luz. Debido al hecho que esta electricidad no se genera a partir del movimiento rotatorio de un alternador, sino del trasvase de electrones desde una zona a otra, la electricidad que se produce en las placas fotovoltaicas es corriente continua (CC) de modo que, debido al hecho que la mayoría de aplicaciones que tiene la electricidad es en forma de corriente alterne (AC), tendrá que ser pasada a corriente alterna mediante un inversión el cual forma parte de la estructura de funcionamiento de un sistema que funcione a través de placas fotovoltaicas. A continuación, en la figura 34, observamos el esquema que describe el proceso comentado en este párrafo.

⁸² Cuando se dopa a un elemento significa que se le añaden elementos con otros números de electrones. Cuando este proceso produce que haya electrones libres se llama de "tipo n" fruto de la carga negativa que adquiere el conjunto. Cuando este proceso produce que haya espacios vacantes de electrones en los átomos, se dice que es de "tipo p" debido a la carga positiva que adquiere.

⁸³ Es la partícula portadora de la radiación electromagnética tanto la que se encuentra dentro del espectro visible como la que no.

⁸⁴ Partícula subatómica que contiene la carga eléctrica negativa del átomo.

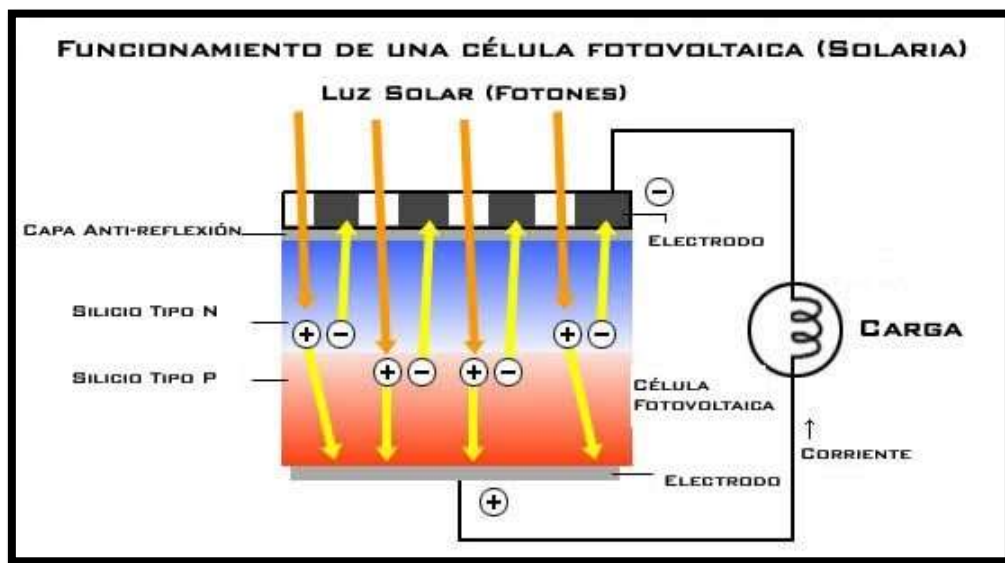


Figura 35. Funcionamiento placa solar. Blog energía fotovoltaica.

En el esquema anterior, se ha podido ver lo que hemos explicado en este párrafo en el cual nos referimos a la producción de electricidad mediante una placa fotovoltaica. Cabe destacar, pero, que desde el año 2008 se está comercializando un nuevo tipo de placa fotovoltaica que se llama “thin fil” la cual, tal y como indica su nombre se trata de una película muy fina formada por una célula solar que se fabrica mediante capas de material fotovoltaico situadas debajo de ésta. Estas pueden estar formadas por distinto material fotovoltaico como el telurio de cadmio, células sensibilizadas por colorante y otras formadas por cobre, indio, galio y seleniuro. Sin embargo, hay que mencionar que la caída de los costes de producción de las placas fotovoltaicas convencionales ha impedido el desarrollo de éstas.

Cuando se habla de producción de energía eléctrica mediante células fotovoltaicas, cabe mencionar también cuales son las variables que permiten que estas sean altamente rentables ya que pueden darse casos en que estas células no aporten suficiente energía. Es debido a este caso que hay muchos organismos que han desarrollado proyectos mediante los cuales, a través de las captaciones de satélites sobre los índices de rayos UV en la superficie de la Tierra, se puede calcular cual será la rentabilidad de unas placas

que se instalen a un sitio determinado. En nuestro caso, nos podemos basar en el PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System)⁸⁵ el cual a partir de la información que tiene sobre la incidencia de los rayos UV en toda la Tierra, puede medir cual va a ser la capacidad de una placa fotovoltaica teniendo en cuenta ciertas condiciones que son las permitirán que una placa sea rentable o no. Como hemos comentado, la primera variable y la más importante para que una placa fotovoltaica sea rentable es que tenga una alta incidencia del índice de rayos UV⁸⁶ (aproximadamente mayor de 7-8 dependiendo de otros factores) la cual dependerá de la latitud a la cual se encuentre el lugar donde se instalará la placa⁸⁷ y de los filtros extras que pueden reducir la incidencia como por ejemplo las nubes. También de la temperatura es otro factor a tener en cuenta, ya que dependiendo del tipo de placa (si es de silicio o de los nuevos modelos comentados anteriormente) habrá un tanto por ciento de la potencia que se perderá de aproximadamente de un 8%. Además, para optimizar la producción de las placas se debe tener en cuenta la posición de las placas respecto al sol ya que como más perpendiculares se puedan situar a la incidencia de los rayos de sol mejor. Debido a este caso, existen algunos tipos de placas que permiten el seguimiento de estas hacia los rayos de sol pudiendo variar tanto su eje vertical como su eje horizontal con el fin de obtener siempre el máximo de incidencia solar. Finalmente, solo queda tener en cuenta las pérdidas de las líneas por las que pasa la corriente y las de las propias placas⁸⁸, las cuales por defecto tienen un valor del 14%.

A través del PVGIS se puede realizar un ejemplo sobre cuál sería la potencia proporcionada por una placa en un sitio determinado y según unas variables que nosotros le daremos.

⁸⁵ Proyecto lanzado por la Unión Europea que permite conocer cuál sería la potencia que generaría una placa fotovoltaica según la posición y ciertas variables.

⁸⁶ Cabe tener en cuenta que, aunque haya una mínima incidencia de fotones, siempre se generará electricidad pero, en este caso, estamos hablando de rentabilidad a nivel económico.

⁸⁷ Debido a la posición del Sol respecto la Tierra, las zonas donde hay más incidencia son aquellas más cercanas al ecuador.

⁸⁸ Con el paso del tiempo, las placas pierden eficiencia debido a la acumulación de polvo que impide la optimización de la incidencia de los rayos UV.



Primeramente, se indica la posición en la cual situaríamos las placas. En este caso ya que estamos realizando un proyecto sobre la isla de Saboga, se determina que el lugar a construir sería en el pueblo de la isla, situado como vemos en la figura 35, en la costa este de Saboga.

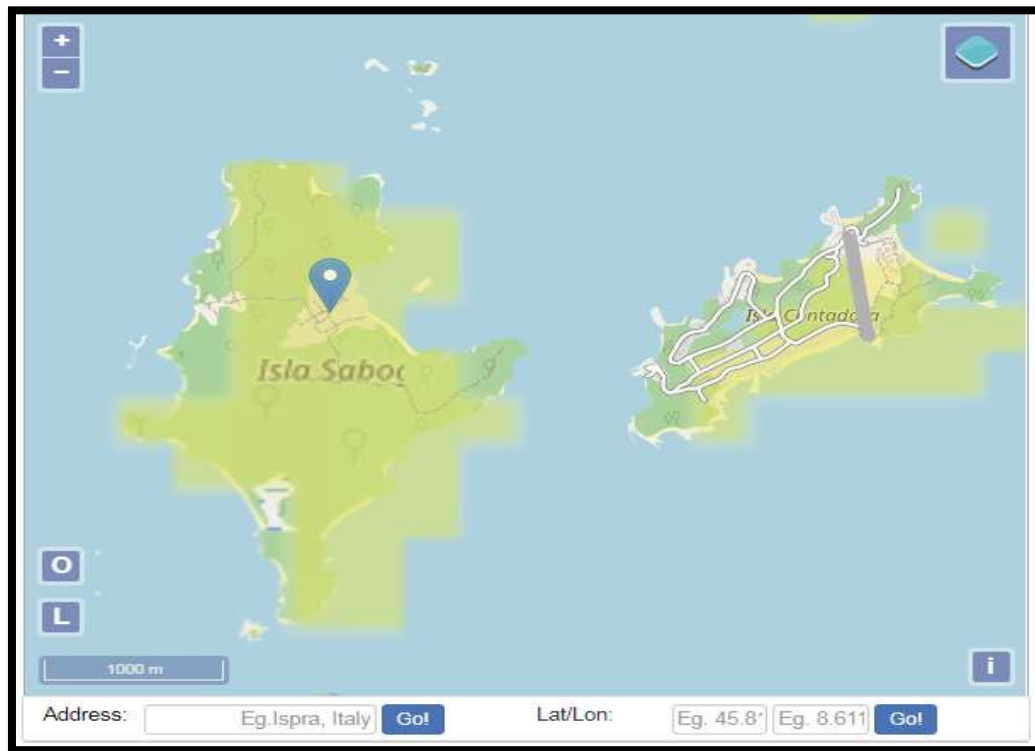


Figura 36. Situación de la instalación fotovoltaica. PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System).

Seguidamente, se dan los detalles sobre la instalación. En este caso, para ver exactamente cuál sería el rendimiento de una placa fotovoltaica de diez metros cuadrados, que podrían caber en un tejado, decidiremos disponer de un sistema sin estar conectado a la red y que por lo tanto funciona con simplemente el panel conectado a las baterías y el inversor por saber cuánta energía limpia nos podría proporcionar. Teniendo en cuenta que el propio sistema ya te calcula cual es la incidencia de los rayos de Sol en la zona, el viento, las precipitaciones y horas de sol. También, se determinan

la capacidad de las baterías, a las cuales les vamos a dar un valor de 600 Wh la cual puede ser la batería de un coche, un límite de la capacidad de la batería para decir cuando esta se debería desconectar del circuito cuando se está descargando⁸⁹, por tal de proteger a la propia batería y que en este caso va a ser el dado por defecto: 40%. A continuación, se debe poner cual es el consumo diario de los aparatos que van a estar conectados a la placa. El sistema pone por defecto la cifra de 1000 Wh la cual vamos rebajar al tratarse de casas que tienen un gasto muy inferior de electricidad que nosotros y vamos a poner 500. Finalmente, se pide cual va a ser la posición de las placas respecto al Sol e introducimos que éstas van a estar a un ángulo de 35° y en dirección al Sur⁹⁰. De este modo los resultados que se muestran de la siguientes manera.

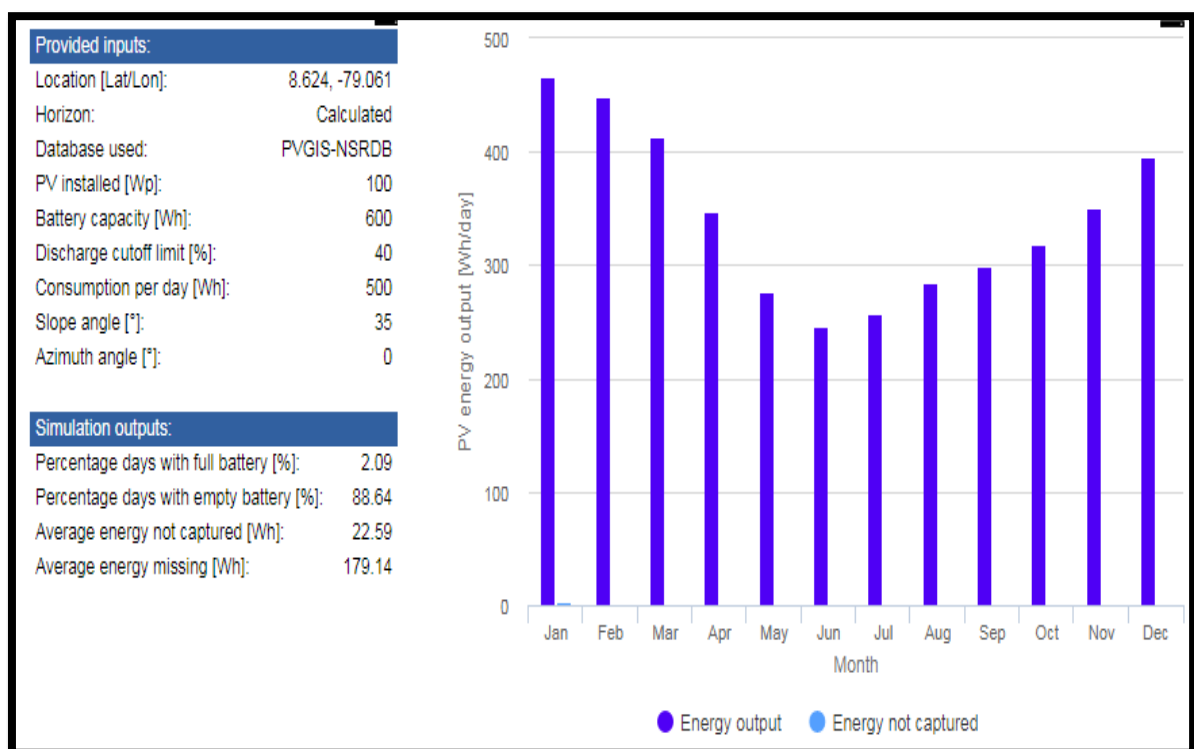


Figura 37. Resultados de la generación teórica de la planta fotovoltaica. PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System).

⁸⁹ Hay baterías, especialmente las de plomo y ácido, que se degradan rápidamente si se descargan completamente a menudo. Si a estas baterías se les pone un mínimo de capacidad en el cual se desconectan para evitar que se vacíen, se evita la degradación prematura.

⁹⁰ Posición de optimización máxima por el aprovechamiento de la radiación.

De los datos recogidos, los cuales vemos representados en la figura 36, podemos deducir que durante los meses de la época seca la captación solar va a ser muy alta llegando hasta los 466 Wh en Enero de modo que la instalación es bastante rentable, aunque no podemos determinar si suficiente por falta de los datos reales de consumo, pero que en la época de lluvias la generación de electricidad baja hasta la mitad, con el mínimo en Junio con la producción de 245 Wh al día y no sería suficiente de modo que se tendrían que hacer dos cosas: o aumentar la superficie de captación o conectarse a la red eléctrica con tal de compensar el déficit.

Una vez conocido como es el funcionamiento de la producción de electricidad mediante las placas fotovoltaicas, proseguimos conociendo sus sistemas de conexión tanto a la red como en sistemas donde se encuentran aislados, como el caso que acabamos de ver en el ejemplo.

A continuación, vamos a ver cuál es la estructura que tiene un sistema eléctrico, cuando se encuentra conectado a la red con el fin de generar electricidad en grandes cantidades como en los parques de generación fotovoltaica y otro ejemplo que será un circuito aislado de la red y que tiene como base la producción de energía mediante placas fotovoltaicas. Estos últimos también son incluidos al apartado de microgeneración de energía, tal y como hemos visto en el capítulo de la energía eólica, la cual es de gran interés para el proyecto que estamos desarrollando.

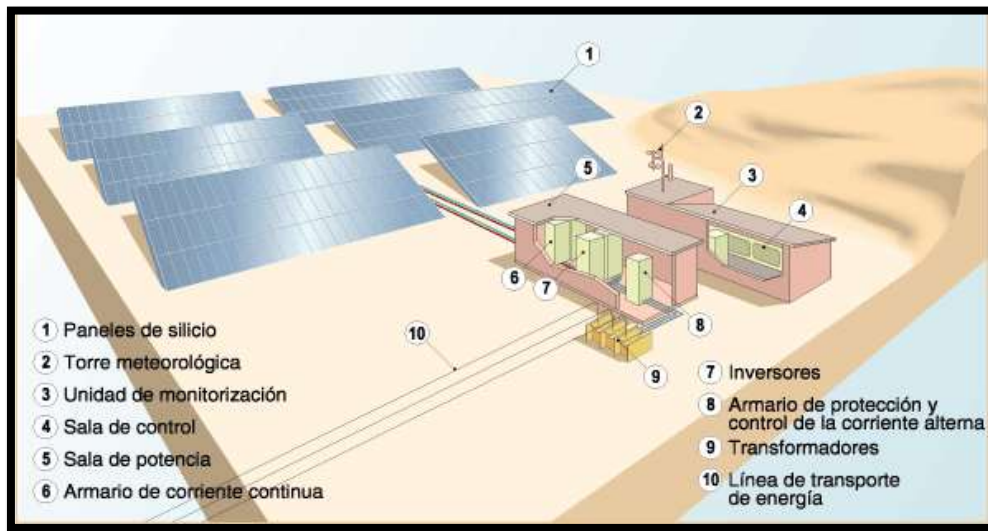


Figura 38. Central de placas fotovoltaicas. UNESA (Unión Española de la Industria Eléctrica).

En una planta de generación de electricidad mediante placas fotovoltaicas, deberemos contar con los siguientes sistemas de los cuales vamos a describir los más importantes⁹¹ de los que quedan recogidos en la figura 37. Primeramente, no encontraremos con los paneles fotovoltaicos formados de silicio (1) los cuales a través del proceso que hemos explicado anteriormente, generan electricidad, siempre y cuando haya incidencia directa de los rayos solares los cuales son interpretados por la estación meteorológica (2), de corriente continua donde es monitorizada y controlada en la sala de control (3 y 4). A continuación, la corriente continua (CC) es conducida al armario de corriente continua donde es convertida en corriente alterna (AC) por medios de un inversor (7) donde esta es adaptada y monitorizada por el armario de protección y control de la corriente alterna (8) y finalmente, es elevada de tensión por medio de un transformador para poder ser transportada.

⁹¹ UNESA (Unión Española de la Industria Eléctrica), 2014, Funcionamiento de las centrales eléctricas, España.

Este es el funcionamiento por el cual se genera electricidad en un parque de generación fotovoltaica. A continuación, vamos a ver la generación per medio de la microgeneración como podemos observar en el esquema de la figura 38 inferior a estas líneas.



Figura 39. Esquema sistema de generación eléctrica fotovoltaico aislado.
Google Sites.

Un circuito eléctrico que funcione aislado de la red y que se sirva de electricidad mediante un panel fotovoltaico que tenga diversas placas fotovoltaicas deberá tener con toda seguridad los siguientes elementos los cuales vemos ilustrados en el esquema anterior. La microgeneración de electricidad mediante placas solares, como en el caso de la microgeneración eólica, queda recogida en la legalidad de varios países dando distintos valores sobre cuál es el máximo de potencia que se puede producir que, en el caso de España, recordemos que es de 50kW⁹².

Primeramente, nos encontramos con el propio panel fotovoltaico (1) el cual ya hemos descrito anteriormente y es la base del sistema ya que es el que produce la electricidad que circula por el circuito. A continuación, nos encontramos con un regulador o controlador de la carga (2), la función de la cual es proteger el circuito eléctrico,

⁹² Real Decreto 842/2008 de 2 de agosto.

mediante ir tomando información de la carga del sistema, como por ejemplo el voltaje, compararlos con los valores mínimos y máximos que admite el tercer elemento que vamos a mencionar que son las baterías (3) con el fin de no dañarlas. La función de las baterías consiste en almacenar la energía eléctrica producida por el panel fotovoltaico para que ésta pueda ser usada cuando el panel no funciona, como por ejemplo cuando es de noche. Éstas, a diferencia de las mencionadas en el capítulo de la generación eólica, son de corriente continua (CC). Finalmente, el último elemento que encontramos es el inversor CC/AC el cual permite convertir la corriente continua (CC) generada en corriente alterna para poder ser utilizada para el consumo de la mayoría de aparatos electrónicos que funcionan con corriente alterna (AC). Cabe destacar que, aunque en este esquema hayamos comentado que se trata de un sistema no conectado a la red, debemos tener en cuenta que también puede ser que cuando tenemos microgeneración de electricidad mediante placas fotovoltaicas, también se puede estar conectado a la red con el fin de poder nutrirse ella en el caso que la producción de energía solar no sea lo suficientemente alta como para cubrir la demanda. Por lo contrario, hay casos que incluso si en sistemas de microgeneración de energía mediante placas solares hay un superávit de producción, como en el caso de la energía eólica, esta puede ser transmitida a la red, una vez se haya convertido en corriente alterna (AC) y vendida a las compañías productoras y suministradores de electricidad.

Hasta aquí llega la descripción del capítulo de la energía solar la cual, debido al alto nivel de desarrollo que ha conllevado, es una energía solar muy solvente y que permite que la producción de electricidad no sea siempre a través del modo convencional del sistema turbina-alternador, con la excepción de la energía solar térmica, sino que permite a través de una placa fotovoltaica, generar una diferencia de potencial y, por lo tanto, electricidad. Hemos visto que a partir de la radiación directa del sol se puede obtener tanto el calor, con el fin de conseguir agua caliente o generar electricidad, pero con una infraestructura considerable o conseguir, mediante sus partículas, directamente electricidad. Sin duda una de las energías renovables con más futuro debido a que no conllevan ningún tipo de contaminación con el medio ambiente y, en el caso de la

energía solar fotovoltaica, nos permite, con una infraestructura reducida, conseguir electricidad. A continuación, vamos a ver los dos tipos de energías renovables que nos quedan las cuales son la energía geotérmica y la energía a partir de la cogeneración de la biomasa.

Energía geotérmica

En este apartado vamos a conocer la energía geotérmica, aunque en este proyecto no tenga una importancia sustancial, debido al desconocimiento de las capas internas de la corteza de la Tierra. A continuación, se realizará una pequeña explicación ya que es posible que, en su futuro, cuando se pueda conocer a fondo las características de la corteza de la zona, se pueda explotar.

La energía geotérmica es aquella que nos permite, a través de usar el calor de las capas internas de la tierra, para transformarla en electricidad. Incluimos este tipo de energía en el grupo de energía renovables ya que se considera que el calor que se filtra desde el magma de la Tierra hacia la corteza, que es el que es usado con tal propósito, es muy inferior a la tasa de extracción y, además, comparado con la emisión de gases del efecto invernadero de otros tipos de producción de energía, es aproximadamente de un 5%⁹³ respecto al total de éstas.

Aunque el aprovechamiento de las zonas donde el agua es calentada en las capas freáticas data de hace aproximadamente dos mil años, el inicio de la energía geotérmica con el fin de producir electricidad, reside a principios del siglo XX cuando se generaron los primeros generadores eléctricos que basaban su energía en el calor interno de la tierra y a lo largo del siglo XX se fueron construyendo las primeras centrales geotérmicas hasta que hoy en día, aproximadamente 24 países ya usan esta tecnología siendo los Estados Unidos (27%), Filipinas (15%) e Indonesia (11%) los principales productores⁹⁴ de electricidad mediante esta energía. La mayoría de la producción de energía eléctrica a

⁹³ IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2016, Suiza.

⁹⁴ Annual U.S. Global Thermal Power Production Report, 2016, Estados Unidos.



través del calor interno de la tierra se concentra en una zona de las costas que se encuentran alrededor del Océano Pacífico que se llama el Anillo de Fuego el cual concentra una enorme actividad volcánica fruto de la existencia de fricciones entre distintas placas tectónicas⁹⁵ la principal de la cual es la placa del pacífico. Estas fricciones producen que el calor del magma se escape más fácilmente hacia la superficie terrestre y este puede ser usado en estas situaciones.

En referencia al proceso de producción de la energía eléctrica⁹⁶, cabe mencionar que ésta depende del estado en el que se encuentre el calor en el yacimiento. Este se puede encontrar en forma de vapor seco, o en forma de agua a alta temperatura. De este modo encontramos a tres tipos de centrales geotérmicas ya que cuando el agua se encuentra en estado líquido, la forma de producir el vapor puede variar.

Primeramente, encontramos las centrales de producción de electricidad a partir del vapor seco. En este caso, el cual es también el más antiguo debido a su funcionamiento, consiste, tal y como podemos ver en la figura 39, en transmitir, mediante conductos el vapor seco que se encuentra en el interior de la tierra, mediante los conductos que se perforan aproximadamente entre unos 400 o 600 metros, a un mínimo de 150°C, directamente hacia la turbina la cual se convertirá en energía mecánica y a su vez en electricidad mediante un alternador. Una vez el vapor ha accionado la turbina, es enfriado mediante un condensador e inyectado otra vez a la corteza terrestre.

⁹⁵ Comentado en el capítulo sobre la Isla de Saboga.

⁹⁶ Departamento de Energía de los Estados Unidos, 2017, Estados Unidos.



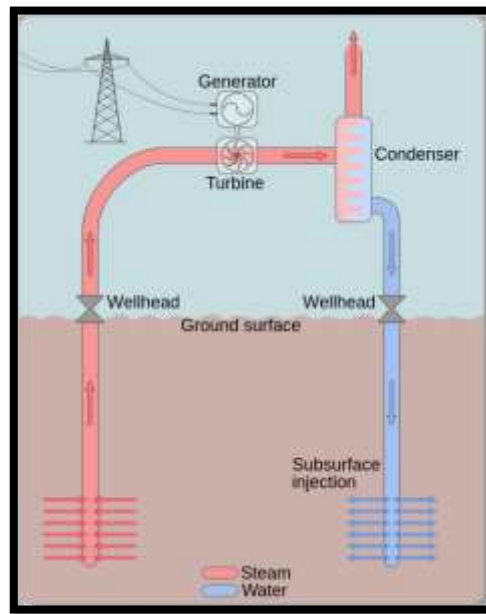


Figura 40. Central Geotérmica de vapor seco. Renovables.

En el segundo tipo de centrales geotérmicas de generación de electricidad, el esquema de la cual queda recogido en la figura 40, se trabaja con agua a muy alta temperatura que es calentada por el calor que se filtra del subsuelo a través de tuberías y ésta es introducida a depósitos de baja presión donde cambia de estado y pasa a estado gaseoso. Este vapor es usado para impulsar la turbina que a su vez impulsa el generador. El vapor sobrante es vuelto a su estado líquido mediante el condensador e inyectado de nuevo a la corteza.

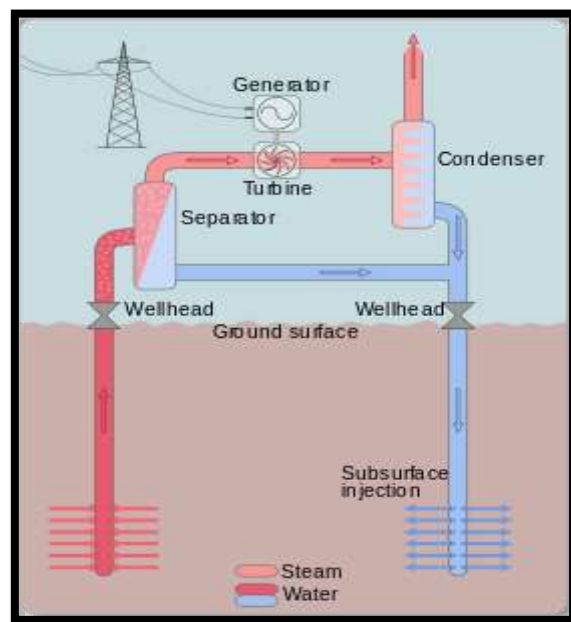


Figura 41. Central Geotérmica de alta temperatura. Renovables.

Finalmente, nos encontramos con las centrales de ciclo binario las cuales son las más nuevas y que además pueden trabajar con la temperatura de agua de hasta un mínimo de 57°C debido a su funcionamiento. Esta agua se hace pasar junto con un líquido la temperatura de ebullición del cual es mucho menor al del agua y por lo tanto éste se convierte en vapor que a su vez impulsa a la turbina y al alternador.

Estos son los tres métodos que se usan hoy en día, teniendo en cuenta que el tercero es el más desarrollado y usado últimamente para generar electricidad a través del calor interno de la Tierra. Como hemos comentado anteriormente, no hay estudio sobre el subsuelo y la posibilidad de que existan zonas con una alta filtración de calor en Panamá, aunque éste esté incluido en la zona denominada como el Anillo del Fuego. La energía geotérmica es sin duda alguna una salida muy plausible en los sitios donde se pueda explotar ya que nos permite obtener un alto rendimiento y generar electricidad de forma limpia.

Finalmente, una vez hemos visto la energía geotérmica, queda conocer la última de las energías renovables que están resultando ser más eficientes en esta contante lucha

contra las emisiones de gases contaminantes de modo que finalmente vamos a conocer la bioenergía y cuáles son sus aplicaciones con el fin de poder generar electricidad.

Bioenergía

La bioenergía, también conocida como la energía de biomasa⁹⁷, usa esa misma como fuente de energía para que sea transformada en energía eléctrica. El proceso que sigue es el mismo que el que hemos visto anteriormente en los casos de las energías convencionales, pero con la diferencia que el combustible que usan es la biomasa o también llamada biocarburantes cuando ésta es alterada químicamente para mejorar su rendimiento. Esta energía está clasificada como energía renovable⁹⁸ aunque en ella exista una reacción química de combustión ya que se calcula que la cantidad de dióxido de carbono expulsado a la atmosfera es el mismo que expulsaría la materia orgánica durante su composición.

La energía eléctrica se produce en centrales de cogeneración de biomasa las cuales tienen la misma estructura que las centrales nucleares que usan combustibles fósiles. A continuación, vamos a explicar su procedimiento nombrando los puntos más destacables del esquema que veremos seguidamente.

En una central de cogeneración mediante biomasa, como la del esquema de la figura 41, encontramos, primeramente, la parte fundamental del proceso el cual es la caldera (10). En ésta, la biomasa, que previamente ya ha sido tratada, principalmente para reducir su tamaño, clasificada en función de su tamaño y almacenada (1-6) es sometida a un proceso termoquímico⁹⁹ como puede ser la combustión, que ya ha sido comentada

⁹⁷ La biomassa es la cantidad de materia orgánica de un individuo.

⁹⁸ UNESA (Unión Española de la Industria Eléctrica), 2014.

⁹⁹ Reacción la cual conlleva una absorción o una liberación de calor.

anteriormente, la pirolisis¹⁰⁰ o la gasificación¹⁰¹. En la primera de estas reacciones, el calor, fruto de la reacción exotérmica, hace que el agua que circula por las tuberías de la caldera se convierta en gas y éste se use para accionar la turbina (17) la cual irá unida a un alternador que generará la electricidad (18), ésta será elevada de tensión para mejorar su transporte mediante el transformador (19) y finalmente, se unirá a la red eléctrica. En los otros dos casos, hay que comentar que se obtienen subproductos como pueden ser carbón y gases como el nitrógeno o el metano¹⁰². Volviendo al proceso anterior, el agua que ha sido convertida en gas es enfriada mediante un condensador (15) y puede volver a repetir el ciclo. Respecto a la biomasa como combustible cabe destacar que ésta, debe ser mezclada con un combustible de apoyo derivado del petróleo para ayudar en la combustión ya que esa debido a su naturaleza puede ser que a veces no sea rentable del todo. A continuación, vamos a conocer distintos tipos¹⁰³.



Figura 42. Central de cogeneración mediante biomasa. UNESA (Unión Española de la Industria Eléctrica).

¹⁰⁰ Descomposición química de los elementos orgánicos y otros materiales causados por el calentamiento en ausencia de oxígeno.

¹⁰¹ Proceso en el cual la materia orgánica es transformada en un gas combustible ante un agente gasificante como el oxígeno, el vapor de agua o el hidrógeno.

¹⁰² Dependiendo del agente gasificante.

¹⁰³ Odum. E. The strategy of Ecosystem Development. *Science*, núm. 164, Abril 1969, p. 262.

Respecto a los tipos de biomasa que existe la biomasa natural la cual proviene directamente de la naturaleza como son la madera proveniente de residuos o subproductos de explotaciones forestales que no tienen uso y no sirven para su adecuación en forma de muebles o papel y que tienen su salida como biocombustibles, y luego está la biomasa procedente de los residuos de paja, mataderos o basuras urbanas que también puede ser usado como combustible para producir calor. Dentro de esta clasificación, podemos ver también la clasificación según si las sustancias son húmedas como los residuos de lodos de las depuradoras o secos como la madera y los residuos forestales en general. Esta característica será clave para determinar cuál puede ser su uso ya que la biomasa seca será más fácil de usar en los procesos mencionados anteriormente como la propia combustión. En el caso de la biomasa húmeda, la cual tiene un rendimiento energético menor, se pueden emplear procesos bioquímicos¹⁰⁴ con tiempos de procesamiento más largos y que obtienen como resultado gases como el metano o el etanol.

Como hemos visto, la biomasa es un recurso muy útil para producir energía eléctrica de forma alternativa a las centrales eléctricas convencionales. Sin embargo, el tratamiento del biocombustible, así como el método para conseguirlo en zonas donde no haya una gran cantidad de materia orgánica en desecho provocan que ésta no esté siendo usada a gran escala, aunque haya países donde en zonas rurales y dedicadas una y exclusivamente a la agricultura, sea una de sus principales fuentes de generar electricidad ya que le pueden dar salida a residuos de su producción. De hecho, el futuro de la cogeneración mediante la biomasa puede ser la gran solución para sociedades que vivan aisladas y que trabajen con grandes zonas donde haya residuos de materia orgánica que pueda ser tratada y usada como combustible.

Con la explicación de la bioenergía o energía de cogeneración mediante la biomasa llegamos al final del capítulo de las energías renovables el cual ha consistido en poder obtener un pequeño resumen de cuáles son las energías más rentables hoy en día y

¹⁰⁴ La cual se centra en la composición química de los elementos orgánicos.

cuáles son las variables por las cuales podemos obtener electricidad. A continuación, vamos a conocer las conclusiones de este proyecto fruto de la comparación entre las variables que permiten a cada una de las energías renovables generar electricidad y las características de la isla de Saboga.

Conclusiones

A lo largo de la elaboración del proyecto, se ha ido conociendo cuales son las características de los distintos puntos de la investigación que permitirán alcanzar el objetivo, determinar cuáles son las energías renovables que más se pueden adaptar a la zona del archipiélago de Las Perlas, y concretamente, en la Isla de Saboga, de la cual se han evaluado sus características a lo largo de este trabajo.

La información obtenida sobre la isla de Saboga: su geografía, su relieve, la economía de la gente, su clima y su entorno y el conocimiento que se ha desarrollado sobre las energías renovables permiten, al llegar a este punto, conocer cuáles son las ventajas e inconvenientes de cada una de ellas, contraponerlas con las características de la isla y a partir de aquí llegar a la conclusión de cuáles son las más adecuadas para poder dar un servicio más óptimo a sus habitantes.

Primeramente, se realizó un resumen sobre las características de la isla. La isla de Saboga es una isla perteneciente al archipiélago de Las Perlas en el golfo de Panamá, en el océano Pacífico. Esta isla, de un tamaño relativamente pequeña (2,77 km²) de forma romboide y con pequeñas elevaciones, se encuentra habitado por una pequeña población autóctona de 425 habitantes los cuales se dedican principalmente a la pesca mediante embarcaciones en estado anacrónico o al sector terciario. Muchos de estos habitantes no tienen acceso a la electricidad suministrada por un generador eléctrico convencional situado a la punta este de la isla. Además, cabe destacar la existencia de nuevos resorts e infraestructuras dedicadas al sector terciario que están aumentando la demanda de electricidad en la isla con la probabilidad de que el generador quedará obsoleto en un futuro inmediato.

El entorno de la isla de Saboga está mayormente protagonizado por las aguas del golfo de Panamá el cual en la zona del archipiélago tiene un altísimo valor por gran biodiversidad existente en sus aguas lo cual produce que estas están protegidas legalmente mediante la ley mencionada durante el proyecto. El golfo, en las

inmediaciones de la isla, no tiene una profundidad muy notoria, con unos valores medios de 10-12 metros según la altura de la marea la cual sí que, en episodios de mareas vivas puede protagonizar amplitudes cercanas a los 5 metros. La marea que existe en el golfo es una de las principales responsables de la existencia de corrientes en su interior junto a la presencia estacional de la corriente de Panamá, o más famosamente conocida como corriente de El Niño ya que su presencia en los meses de invierno provoca el cambio de sentido de las corrientes que normalmente son en sentido antihorario, pero de una intensidad relativamente baja. Aunque existen informes sobre la actividad de las mareas (y el flujo de estas) en el golfo de Panamá, estos se centran principalmente a la bocana de la entrada sur del Canal de Panamá y no entran a fondo en el comportamiento de estas en el archipiélago.

A nivel climático cabe destacar que la isla de Saboga se encuentra en una zona de clima tropical las características principales de la cual son la inexistencia de las cuatro estaciones tradicionales en Europa en favor de dos períodos de tiempo muy marcados como son la época de lluvias, desde mediados de abril hasta noviembre, y la época seca desde diciembre a abril. En la época de lluvias, las precipitaciones en forma de chubasco son constantemente presentes pudiendo llegar a los 290 mm de agua al mes mientras que, en la época seca, está se ve siempre reducida a menos de 100 mm al mes. Durante todo el año, predominan las altas temperaturas con valores medios aproximados de unos 26°C y altas humedades acentuadas durante la época de lluvias y que a su vez comportan una diferencia de la oscilación térmica diaria pero que no afecta a la media anual. En relación con el viento, cabe destacar que la presencia de éste es constante con unas velocidades medias que rondan entre los 1,5 m/s en la época de lluvias y los 3 m/s en la época seca. En ambos casos, las componentes del viento son provenientes del primer y segundo cuadrante debido a la circulación del aire en aquella zona que es de componente sur y desviada por el efecto Coriolis de modo que mayormente el viento proviene del norte o noreste. Finalmente, en referencia a la incidencia de la luz solar, concretamente a los datos sobre la incidencia de la radiación ultravioletada (UV) proveniente del Sol, cabe destacar que, aunque durante la época de lluvias, la presencia

de nubes incrementa notablemente, la incidencia de estos rayos solo puede verse disminuida aproximadamente entre un 9% y un 11%, la incidencia de estos es muy alta viéndose, durante el día, en valores de 8-9 sobre una escala de diez como mínimo.

Una vez llegados a este punto, conocemos cuales son las características principales de las islas y vamos a proceder a conocer cuáles son las características de las energías renovables descritas con el fin de poder determinar finalmente, cuáles son las más adecuadas según las características descritas anteriormente.

En este proyecto, se ha conocido como se realiza la producción de energía eléctrica de forma convencional, es decir mediante el uso de energías que no son renovables, con el fin de saber cuál es la metodología y el proceso que nos permite la transformación de las energías hasta finalmente obtener la energía eléctrica para después poder entender mejor el funcionamiento de las energías renovables, las cuales son aquellas que usan fuentes de energía teóricamente infinitas o inacabables, sus características y conocer cuáles son los factores que permiten que éstas sean rentables por delante de las energías no renovables.

Primeramente, empezamos conociendo la energía hidroeléctrica la cual resultó ser seguramente la fuente de energía renovable más rentable siempre que la falta de agua no sea un problema y se pueda contar con las infraestructuras necesarias como la presa, que es fundamental para mantener la energía potencial del agua, y la central productora donde se encuentra la turbina junto al generador y los transformadores.

A continuación, nos encontramos con otra energía renovable que usa la energía del agua, pero en este caso, la energía cinética que contiene al verse desplazada fruto de los flujos producidos por las mareas y la energía potencial producida por la diferencia de amplitud entre la pleamar y la baja-mar. En los casos que exista la presencia de flujos medianamente intensos, la generación de electricidad está asegurada. Aunque el nivel de infraestructura a construir no es tan alto, sí que es necesaria la construcción de las turbinas debajo del nivel del mar y en algún caso la construcción de diques que realicen la función de las presas en la generación de energía hidroeléctrica.

Seguidamente, nos encontramos con otro tipo de aprovechamiento de la energía de mar, pero en este caso se trataba de la energía cinética de las olas las cuales mediante, proyectos innovadores como el Pelamis o el Langlee, que requerían una alta inversión podían dar altos rendimientos siempre que hubiera la existencia de olas y su mantenimiento no fuera muy elevado.

Seguidamente, nos desplazamos de medio y nos encontramos con la energía eólica, es decir, el aprovechamiento de la energía cinética del movimiento del viento el cual, cuando hacia girar unas aspas, permitía generar electricidad. Esta energía limpia era altamente competitiva a nivel de producción de electricidad, con el sistema de aerogeneradores de eje horizontal más que con los de eje vertical, siempre en cuando hubiera un viento constante de 5 m/s y no superior a los 14 m/s con pocas turbulencias y que no cambiara mucho ni dirección ni de intensidad, aunque en este caso, los aerogeneradores de eje vertical podrían resultar más rentables. El tamaño de los aerogeneradores de alta producción eléctrica y su impacto visual también hay que tenerlo en cuenta, pero, sin embargo, la energía eléctrica abre las puertas a la microgeneración la cual, mediante aerogeneradores de potencia limitada según el país y de tamaño mucho más reducido, puede resultar rentable con el fin de suministrar electricidad a sociedades aisladas y de número reducido.

La microgeneración también es altamente rentable en la siguiente fuente de energía conocida como la energía solar. Aquí descubrimos que, en su ámbito de aplicación activa, existen dos tipos de producción de la electricidad a través de la radiación que previene del Sol, siendo una la energía solar térmica, es decir, aquella que usaba el calor para calentar agua, producir vapor y mediante la generación convencional se pudiera generar electricidad y la energía fotovoltaica, la cual usaba la energía producida en el efecto fotoeléctrico para crear una diferencia de potencial en la placa y de este modo generar electricidad. La energía solar es una de las energías renovables más limpias debido a la inexistencia de emisión de ningún tipo de residuo contaminante y altamente rentable siempre y cuando se cumplan las condiciones de que las células se encuentren bien posicionadas respecto al Sol y la incidencia de la radiación siempre sea alta. Uno de



los beneficios de esta tecnología es el hecho de que los costos de construcción están descendiendo rápidamente, lo que produce que la competencia y el rendimiento de esta aumente notablemente en entornos donde se goce de una gran incidencia de los rayos del Sol.

A continuación, se estudió la energía renovable procedente del interior de la Tierra, es decir la del calor que se filtra desde el magma hacia la superficie y que como hemos podido descubrir, puede ser usado en centrales geotérmicas para convertir el agua en vapor y generar electricidad mediante una turbina y un generador. Los costes de estas instalaciones son, hoy en día bastante elevadas sobre todo por el hecho de tener que construir una infraestructura considerable, así como también de la perforación hacia el interior. Además hay que tener en cuenta que esta energía que se filtra no se encuentra a mano en todos los mismos sitios del planeta por igual y que existen zonas de la corteza donde esta es más propensa a filtrar el calor que otras y que, a falta de conocimiento sobre el terreno, es muy difícil de predecir aunque sí que hay que tener en cuenta que Panamá se encuentra en la zona conocida como el Anillo de Fuego del Océano Pacífico y por lo tanto es muy posible que haya bastante actividad geotérmica en la zona aunque no haya estudios de este ámbito.

Finalmente, se analizó la energía procedente de la biomasa, la cual, aunque fruto de la combustión de ésta, cuenta con emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera, se considera que estos no alcanzan a superar los que se generarían por la propia descomposición del material orgánico de modo que se encuentra incluida en nuestra lista de energías renovables. Ésta ha resultado ser una energía altamente rentable en entornos donde se pueda contar con suficiente combustible como zonas agrarias, zonas de explotaciones forestales o zonas donde existan grandes cantidades de residuos orgánicos urbanos. Sin embargo, cuando estos recursos son limitados, la energía biomasa no resulta del todo eficiente debido en parte a que también se debe contar con una infraestructura considerable para su desarrollo.

En este punto hemos alcanzado el conocimiento suficiente como para conocer cuáles son las características de cada una de las energías renovables mencionadas que, juntamente con la información de la isla de Saboga, podemos comparar y decidir cuál, de ellas, o cuales de ellas son las más adecuadas para su entorno y la situación. De este modo, vamos a proceder a valorar cada una de ellas respecto a las condiciones de la isla.

La primera energía por valorar es la energía hidroeléctrica la cual, como hemos comentado, si se quiere obtener un gran rendimiento, se debe contar con una gran infraestructura y con el espacio necesario como para poder obtenerla, lo cual dificultaría su construcción en la isla ya que se debería poder generar un terreno lo suficientemente grande como para albergar un pequeño embalse para albergar el agua. Obviamente, no sería necesaria la construcción de las presas convencionales que conocemos, pero sí que sería necesario un espacio para hacerla. No es una de las energías más fáciles de implementar, pero la cantidad de agua proveniente de las precipitaciones está asegurada.

En consonancia con la energía eléctrica encontramos la energía mareomotriz y la undimotriz. De la primera de estas se podría obtener un gran beneficio fruto de las grandes amplitudes que tienen aquí las mareas, pero, sin embargo, la construcción y modificación del fondo marino están prohibidos, como hemos visto durante el proyecto mediante una ley, aunque la ley prevé casos excepcionales, y con la de undimotriz, la cual también necesita que se trabaje en el fondo marino, se debería contar con la aprobación de la excepción mencionada en la ley. Si se realizara un estudio que determinara como son exactamente las corrientes, generadas por las mareas y las propias corrientes del golfo, y en qué puntos la implementación de turbinas para generar electricidad es altamente rentable, se obtendría una generación de electricidad constante.

Seguidamente, encontramos la energía eólica la cual, según los datos recopilados en este proyecto, no sería rentable ya que la velocidad media del viento en la zona no es superior a los 5 m/s y la construcción de un aerogenerador con el tamaño del que hemos

hablado, significaría un impacto visual muy importante en una isla como ésta. Sin embargo, sí que puede haber una pequeña salida de esta energía renovable, en el ámbito de la microgeneración ya que es posible que esta sí que pudiera servir, en algún caso y previo estudio de las condiciones en cada caso, para ser implementada en casas como suplemento a una conexión a la red principal o como energía para el suministro a baterías de embarcaciones.

A continuación, nos encontramos con la energía solar, la cual, su variante en forma de generación fotovoltaica, una vez se ha realizado este proyecto, ha resultado ser la energía que más se ajusta a las condiciones de la isla. La alta incidencia solar de los rayos de radiación UV, así como también su rápida implementación en forma de microgeneración, sería idónea para la isla. Esta no haría falta que se instalara en un parque fotovoltaico, lo cual podría llevar a un visual bastante importante teniendo en cuenta el tamaño de la isla, sino que, si se instalara en edificios que tengan una alta demanda de energía, y si se demuestra que es rentable se podría implementar en otros casos, sería una buena forma de sustituir la energía eléctrica proveniente del generador convencional con el que cuenta la isla. Respecto a la energía solar térmica, la generación de electricidad mediante este proceso sí que precisa contar con una infraestructura un poco mayor y con unos costes más elevados así que, teniendo en cuenta las condiciones de la isla no parece ser la apropiada para su implementación.

Finalmente, nos encontramos con la energía geotérmica y la energía procedente de la biomasa. Ambas, precisan de una infraestructura con unos costes bastante elevados, en comparación con la energía solar fotovoltaica, además que también se precisaría de espacio y en el caso de la geotérmica, se debería perforar el subsuelo y tener en seguridad el hecho de que en aquella zona exista una alta filtración del calor lo cual en este proyecto no hemos podido asegurar al 100%. En el caso de la biomasa, cabe destacar que, a parte de la infraestructura, se debe contar de forma cercana con los recursos necesarios para generar los biocombustibles los cuales en la isla son reducidos ya que, aunque haya una gran cantidad de materia orgánica en forma de madera, como hemos comentado anteriormente, la legislación no permite su explotación salvo



permisos excepcionales así que, la energía procedente de la biomasa puede también, ser descartada del proyecto.

De este modo, y una vez conocidas todas las variables de cada una de las energías comparadas con las características que hemos conocido de la isla, podemos determinar que la energía renovable que será más rentable, tanto a nivel de costes de producción y así como también de su rendimiento en producción de electricidad será la energía solar fotovoltaica. Ésta podrá ser implementada en los edificios que sea necesario sin precisar de construir toda una instalación u ocupar un terreno en el cual construir sería complicado. Su adaptación a la isla tiene signos muy positivos debido a la alta incidencia de la radiación solar en la zona, tanto en la época de lluvias, como en la época seca de modo que, si estos son colocados de forma que se puede sacar el 100% de su rendimiento, permitirán suministrar electricidad allí donde sea demandada. Además, otra aplicación que podría tener la energía solar fotovoltaica en Las Perlas y que permitiría mantener aún mejor el ecosistema y la biodiversidad del entorno del archipiélago sería la implementación de placas fotovoltaicas en las embarcaciones que se encuentran en la zona permitiendo reducir de este modo la cantidad de combustible quemado y por tanto la emisiones de gases contaminantes en el entorno, sin embargo, el diseño de estas embarcaciones y su rendimiento, formaría parte de un nuevo proyecto.

La energía solar ha resultado ser, gracias a la gran consonancia entre las variables que permiten que esta sea altamente rentable y las condiciones de la isla, la más adecuada para el entorno el cual, con estas mejoras, es de esperar que pueda ofrecer a la sociedad de la isla de Saboga un futuro más próspero en el cual la mejora de calidad de vida y el entorno sean los protagonistas.

Bibliografia

Libros

Castañer Muñoz Luis. *Energía Solar Fotovoltaica*. Edicions UPC. Barcelona. 1992.

ISBN: 84-7653-375-6.

Carta Gonzalez, Jose Antonio; Calero Pérez, Roque; Colmenar Santos, Antonio; Castro Gil, Manuel-Alonso; Collado Fernández, Eduardo. *Centrales de Energías Renovables*. Pearson Educación. Madrid. 2013. ISBN: 9788483229972.

G. Stelz, William. *Steam Turbine- Generator Development for the Power Generation Industry*. Westing House Electronic Corporation. Pittsburgh. 1992. ISBN: 0-7918-0794-0.

Mujal Rosas, Ramón M. *Tecnología eléctrica*, Edicions UPC. Barcelona. 2000.

ISBN: 84-8301-448-3.

Artículos

Alberto Ibáñez, J. Energía Eólica Offshore. *Ingeniería Naval*, núm. 844, Enero 2007, p. 85-98.

Godín Boado, J. La Energía Eólica Marina. *Revista General de Marina*, núm. 273, Noviembre 2017, p. 697- 712.

Odum. E. The strategy of Ecosystem Development. *Science*, núm. 164, Abril 1969, p. 262.

Prins, H; Bucher, B. Better Ships, Blue Oceans! *Report, MARIN*, núm. 122, Diciembre 2017, p. 8-10.

Anónimo. EE. UU. Estudia implementación masiva de energía geotérmica. *Ingeniería Naval*, núm. 847, Abril 2007, p. 65-66.

Anónimo. Inauguración de la plataforma solar Abengoa en Sevilla. *Ingeniería Naval*, núm. 847, Abril 2007, p. 67.

Páginas web

ACD (Alianza Para la Conservación y el Desarrollo). Informe de la Situación Social, Económico y Ambiental de tres Comunidades: San Miguel, Pedro González y Saboga. [en línea]. Panamá 2010. [Consulta: 6 de Marzo de 2018]. Disponible en: https://www.oceandocs.org/bitstream/handle/1834/8011/INFORME_CARACTERIZACION_3_COMUNIDADES_EN_EL-ARCHIPIELAGO%20DE%20LAS_PERLAS%20PANAMA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Annual U.S. Geothermal – Power Production Report 2016. [en línea]. Estados Unidos 2017. [Consulta: 11 de Abril de 2018]. Disponible en: <http://geo-energy.org/reports/2016/2016%20Annual%20US%20Global%20Geothermal%20Power%20Production.pdf>>.

ASEP (Autoridad Nacional de los Servicios Públicos). Licencias de construcción de plantas generadoras de energía eléctrica en Panamá. [en línea]. Panamá 2017. [Consulta: 25 de Abril de 2018]. Disponible en: <https://www.asep.gob.pa/>>.

BBC NEWS. Isle of Wight tidal energy scheme 'put on hold'. [en línea]. Reino Unido 2011. [Consulta: 17 de Mayo de 2018]. Disponible en: <https://www.bbc.com/news/uk-england-hampshire-40557897>>.

Conservación contra natura: las islas Galápagos. Christopher Grenier. [en línea]. Lima 2007. [Consulta: 3 de Mayo de 2018]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Christophe_Grenier2/publication/43981082_Conservacion_contra_natura_las_islas_Galapagos/links/54181dd20cf25ebee9880612/Conservacion-contra-natura-las-islas-Galapagos.pdf>.



Danish Wind Industry Association. [en línea]. Dinamarca 2016. [Consulta: 6 de Abril de 2018]. Disponible en: <<http://www.windpower.org/en>>.

Departamento de energia EE.UU. [n línea]. Estados Unidos 2017. [Consulta: 29 de Mayo de 2018]. Disponible en: < <https://gobierno.usa.gov/agencias-federales/departamento-de-energia-%E2%80%93-doe>>.

Eliocat. Associació Eòlica de Catalunya. [en línea]. España 2009. [Consulta: 7 de Mayo de 2018]. Disponible en: <<http://eoliccat.net/>>.

Energía Lanzarote. Análisis del ámbito energético de Lanzarote y de sus recursos renovables a partir del trabajo de Área de Energía del Cabildo de Lanzarote. [en línea]. España 2010. [Consulta: 22 de Febrero de 2018]. Disponible en: <http://www.datosdelanzarote.com/uploads/doc/Energ%C3%ADa-en-Lanzarote-20121106100920754libro_energia_cablanz_2012.pdf>.

Erenovable. Tipos de energías. [en línea]. España 2018. [Consulta: 26 de Mayo de 2018]. Disponible en: <<https://erenovable.com/tipos-de-energias-renovables-resumen/>>.

ETESA (Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A.). Hidrometeorología. [en línea]. Panamá 2009. [Consulta: 8 de Marzo de 2018]. Disponible en: <<http://www.hidromet.com.pa/>>.

Eurostats. Statistics Explained, Estadísticas de energía Renovable. [en línea]. Unión Europea 2017. [Consulta: 10 de Abril de 2018]. Disponible en: <http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics/es>.

Força 3 Sailing Club Panamá: Gestió i creació de la primera escola de vela lleugera a Panamá. Proyecto Final de Carrera. Jacob Baró Sala. Universitat Politècnica de Catalunya. [en línea]. España 2017. [Consulta 20 de Febrero de 2018]. Disponible en: <<https://upcommons.upc.edu/handle/2117/105807>>.

Google Maps. US Navy. [en línea]. Estados Unidos 2018. [Consulta: 6 de Marzo de 2018]. Disponible en: <<https://www.google.com/maps/place/Ciutat+de+Panam%C3%A0,+Panam%C3%A0/@9.0154855,-79.4786641,8806m/data>>.

Humboldt Current System: Ecosystem components and processes, fisheries, and sediment studies. Scripps Institution of Oceanography. [en línea]. Estados Unidos 2009. [Consulta 15 de Mayo de 2018]. Disponible en: <<http://scrippsscholars.ucsd.edu/clange/content/humboldt-current-system-ecosystem-components-and-processes-fisheries-and-sediment-studies>>.

Hydroelectric Power. United States Department of Interior. Power Source Office. [en línea]. Estados Unidos 2005. [Consulta 1 de Marzo de 2018]. Disponible en: <<https://www.usbr.gov/power/edu/pamphlet.pdf>>.

IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía). Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital. [en línea]. España 2017. [Consulta: 9 de Abril de 2018]. Disponible en: < <http://www.idae.es/>>.

Implantar turismo: ¿Sembrar desarrollo? El caso del Archipiélago de Las Perlas, Panamá. Congreso Internacional América Latina La Autonomía De Una Región. [en línea]. España 2012. [Consulta: 1 de Abril de 2018]. Disponible en: <https://www.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/SOCIALES_8/Turismo/ME%20Mellado.pdf>.

INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censo). Censo Distrito Balboa. [en línea]. Panamá 2012. [Consulta: 4 de Marzo de 2018]. Disponible en: <<https://www.contraloria.gob.pa/inec/>>.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. [en línea]. Suiza 2016. [Consulta: 17 de Marzo de 2018]. Disponible en: <http://www.ipcc.ch/> .

Isla de Saboga. Island Paradise Resort.[en línea]. Panamá. 2013. [Consulta: 2 de Marzo de 2018] Disponible a: <<http://islasaboga.com/es.html>>.

Ministerio de Ambiente de Perú. [en línea]. Lima 2018. [Consulta 10 de Abril de 2018]. Disponible en: <<http://www.minam.gob.pe/>>.

Ministerio de Industria. Departamento de Energía. [en línea]. España 2018. [Consulta: 25 de Febrero de 2018]. Disponible en: <<http://www.mincotur.gob.es/energia/es-ES/Paginas/index.aspx>>.

ORBIS PANAMÁ. El archipiélago de Las Perlas: Isla Contadora/Isla Saboga. [en línea]. Panamá 2015 [Consulta: 2 de Marzo de 2018]. Disponible a: < https://www.orbis-panama.com/st_activity/el-archipelago-de-las-perlas-isla-contadora-isla-saboga/?lang=es>.

Proyecto Piloto del Archipiélago de Las Perlas. ArcGIS [en línea]. Estados Unidos 2018. [Consulta: 18 de Marzo de 2018]. Disponible en: <<https://www.arcgis.com/home/item.html?id=a532b3de81ac4576a70aa8a7cefc3f63>>.

PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System). Comisión Europea. [en línea]. Europa 2017. [Consulta 23 de Mayo de 2018]. Disponible en: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html>.

Resumen Ejecutivo del Archipiélago de Las Perlas. [en línea]. Panamá 2018. [Consulta: 13 de Marzo de 2018]. Disponible en: <<http://cpps.dyndns.info/cpps-docs-web/secgen/2013/nov/Annexes/Annex%205.%20Executive%20reports%20from%20Pilot%20Projects/RESUMEN%20EJECUTIVO%20PILOTO%20PANAMA.pdf>>.

RSMAS, Ocean Surface Currents, Miami. [en línea]. Estados Unidos 2013. [Consulta: 5 de Abril de 2018]. Disponible en: < <http://oceancurrents.rsmas.miami.edu/>>.

Sol i clima. Energia Solar clima. [en línea]. España 2016 [Consulta: 10 de Abril de 2018].
Disponible en: <<http://www.soliclima.cat/energia-solar-fotovoltaica>>.

Sunburn map. UV Índex. [en línea]. Reino Unido 2018. [Consulta: 8 de Marzo de 2018].
Disponible en: <<http://sunburnmap.com/es/>>.

Sunrise Sunset Information. Horas de Sol en Panamá. [en línea]. Holanda 2018.
[Consulta: 12 de Marzo de 2018]. Disponible en: <<https://sunrisesunset.info/ciudades-panama/salida-puesta-sol-panama>>.

UNESA (Unión Española de la Industria Eléctrica). Funcionamiento de las centrales eléctricas. [en línea]. España 2014. [Consulta: 20 de Mayo de 2018]. Disponible en: <<http://www.unesa.es/sector-electrico/funcionamiento-de-las-centrales-electricas>>.

United States Geological Survey. Hydroelectric Power. [en línea]. Estados Unidos 2016
[Consulta: 12 de Abril de 2018]. Disponible en:
<<https://water.usgs.gov/edu/hyhowworks.html>>.

Utility-scale solar photovoltaic power plants. IFC (International Finance Corporation).
[en línea]. Estados Unidos 2015. [Consulta: 28 de Febrero de 2018]. Disponible en:
<https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/f05d3e00498e0841bb6fbb54d141794/IFC+Solar+Report_Web+_08+05.pdf?MOD=AJPERES>.

Wave energy conversion and ocean thermal energy conversion potential in developing countries. ADB (Asian Development Bank). [en línea] Filipinas 2014. [Consultada 5 de Marzo de 2018]. Disponible en: <<https://think->

asia.org/bitstream/handle/11540/51/wave-energy-conversion-ocean-thermal-energy.pdf?sequence=1>.

Weather Online. Sun daily hours. [en línea]. Reino Unido 2018. [Consulta: 8 de Marzo de 2018]. Disponible en:
<<https://www.woespana.es/weather/maps/forecastmaps?LANG=es&CONT=afri®ION=0011&LAND=AL&UP=1&R=0&CEL=C>>.

Wind Energy EIS Public Information Center. Wind Energy Basics. [en línea]. Estados Unidos 2017. [Consulta: 15 de Abril de 2018] Disponible en:
<<http://windeis.anl.gov/guide/basics/>>.

Zona Especial de Manejo del Archipiélago de Las Perlas. Asamblea Nacional de Panamá. [en línea]. Panamá 2007. [Consulta: 25 de Marzo de 2018]. Disponible en:
<<https://docs.panama.justia.com/federales/leyes/18-de-2007-jun-4-2007.pdf>>.